

**CARACTERIZACIÓN DE LA CADENA DE ABASTECIMIENTO DE BOTELLAS DE
TEREFTALATO DE POLIETILENO COMO ESTRATEGIA DE OPTIMIZACIÓN
DEL RECICLAJE EN LA CIUDAD DE BARRANQUILLA.**

**SHIRLEY SILVANA MEZA MANOTAS
BRYAN YESID PEREZ NUÑEZ**

**UNIVERSIDAD DE LA COSTA (CUC)
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
BARRANQUILLA
2015**

CARACTERIZACIÓN DE LA CADENA DE ABASTECIMIENTO DE BOTELLAS DE
TEREFTALATO DE POLIETILENO COMO ESTRATEGIA DE OPTIMIZACIÓN
DEL RECICLAJE EN LA CIUDAD DE BARRANQUILLA.

SHIRLEY SILVANA MEZA MANOTAS
BRYAN YESID PEREZ NUÑEZ

PROYECTO FINAL

JOSE DAVID FERRO CORREA
Tutor

KATHERINNE PAOLA SALAS NAVARRO
Co-tutora

UNIVERSIDAD DE LA COSTA (CUC)
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
BARRANQUILLA
2015

NOTA DE ACEPTACIÓN:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Barranquilla, 3 de octubre 2015

AGRADECIMIENTOS

Shirley Meza Manotas: Agradezco primeramente a Dios por sus infinitas bendiciones y la oportunidad que me regalo al estudiar esta carrera, a mi madre María Eugenia Manotas A, sin ella este logro no fuera sido posible, me enseñó que todo se cumple si se quiere con esfuerzo y dedicación y a mi hijo Matthews Cáceres, quien es mi motor de vida.

Bryan Yesid Perez Nuñez: Agradezco a Dios por permitirme llegar a esta etapa de mi vida y no menos importante a mi familia quien me ha acompañado a través de este reto brindándome el apoyo necesario y llenándome de motivos para seguir adelante.

INTRODUCCION

Resumen del Proyecto

En la actualidad las botellas de tereftalato de polietileno (PET) son producidas y consumidas en grandes volúmenes por la industria de las bebidas y productos químicos. Después de su utilización estas se convierten en uno de los principales materiales contaminantes del planeta. Cada año alrededor de 500.000 billones de botellas son fabricados en el mundo (EPA, 2012 citado por Meza, 2013). Por tal razón el presente proyecto tiene como objetivo plantear una estrategia basada en los principios de la logística inversa que permitan aumentar la tasa de recolección y reciclaje de botellas PET en Barranquilla, Colombia.

Mediante investigación literaria, revisión del estado del arte y consultas en bases de datos de entes gubernamentales y no gubernamentales, se plantea la situación actual sobre el consumo, post-consumo, caracterización y contaminación del PET a nivel nacional y local.

De acuerdo a los resultados de la investigación se planteara la estrategia basadas en conceptos de logística inversa que permitan recuperar y reincorporar a la cadena de abastecimiento las botellas PET utilizadas. A partir de dichas estrategias se puede lograr la reducción del volumen de material contaminante de la ciudad de Barranquilla.

Palabras claves:

Recolección, logística inversa, contaminación.

Abstract

Nowadays bottles of polyethylene terephthalate (PET) are produced and consumed in large volumes by industry beverages and chemicals. After use these become a major contaminant materials on the planet. Every year around 500,000 billion bottles are manufactured in the world (EPA, 2012 cited by Meza, 2013). For this reason this project aims to devise a strategy based on the principles of reverse logistics that increase the rate of collection and recycling of PET bottles in Barranquilla, Colombia.

Through literature research, review the state of the art and consultations in databases governmental and non-governmental, the current situation on the consumer, post-consumer PET characterization and pollution at national and local level is raised. According to the results of the research strategy based on reverse logistics concepts that can recover and reinstate the supply chain used PET bottles are raised. From these strategies can achieve volume reduction of pollutant materials Barranquilla.

Keywords:

Collection, reverse logistics, pollution.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION.....	5
Resumen del proyecto.....	5
Abstratc.....	6
I. GENERALIDADES DEL PROYECTO.....	10
1.1. Planteamiento del problema.....	10
1.2. Justificación.....	12
1.3. OBJETIVOS.....	14
1.3.1. Objetivo General.....	14
1.3.2. Objetivos Específicos.....	14
1.4. ALCANCES Y LIMITACIONES.....	15
2. CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.....	16
2.1. MARCO DE REFERENCIA.....	16
2.1.1. TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET).....	16
2.1.2. PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN PARA LOS TERMOPLÁSTICOS.....	21
2.1.2.1. EXTRUSIÓN.....	22
2.1.2.2. MOLDEO POR INYECCIÓN.....	22
2.1.3. LOGÍSTICA INVERSA.....	24
2.1.3.1. ACTIVIDADES DE LA LOGÍSTICA INVERSA.....	25
2.1.4. RECICLAJE Y REUTILIZACIÓN.....	26
2.1.4.1. RECICLAJE MECÁNICO.....	28
2.1.4.2. RECICLAJE QUÍMICO.....	31
2.1.4.3. INCINERACIÓN PARA RECUPERACIÓN DE ENERGÍA.....	33
2.1.4.4. PROCESO DE RECICLAJE.....	36
2.2. MARCO LEGAL.....	40
2.2.1. LEYES.....	40
2.2.2. DECRETOS.....	42
2.2.3. RESOLUCIÓN.....	43
2.3. ESTADO DEL ARTE.....	46
3. CAPITULO III. CARACTERIZACIÓN DE LA CADENA DE ABASTECIMIENTO DE LAS BOTELLAS PET.....	55
3.1. DISEÑO CONCEPTUAL.....	55
3.2. DESCRIPCIÓN DE CADENA DE ABASTECIMIENTO.....	56
3.3. CADENA DE RECICLAJE.....	58
3.4. CASO CADENA DE RECICLAJE POSTOBÓN.....	60
4. CAPÍTULO IV. ACCIONES DE MEJORA PROPUESTAS Y ANALISIS.....	62

4.1 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL	62
4.1.1 Funciones de los eslabones de cadena.....	62
4.1.2 Métodos de recolección	63
4.1.3 Estrategias comerciales y de integración.....	65
4.2 PROPUESTA DE MEJORA	66
4.2.1 INTEGRACIÓN.....	66
4.2.2 OPERACIONES Y ALMACENAMIENTO.....	67
4.2.3 MERCADEO Y GESTIÓN DE LA DEMANDA	70
4.2.4 LEGALES.....	72
CONCLUSIONES DEL PROYECTO	74
REVISIÓN BIBLIOGRAFICA	76
ANEXOS.....	80

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 PROPIEDADES USO Y CÓDIGO DE LAS RESINAS DE PLÁSTICO PROPIEDADES USO Y CÓDIGO DE LAS RESINAS DE PLÁSTICO.	17
FIGURA 2 COMPARACIÓN DE PET VIRGEN A NIVELES VARIABLES DE PET RECICLADO: ENERGÍA	27
FIGURA 3 MAPA DE PROCESO DE RECICLADO MECÁNICO	30
FIGURA 4 MAPA DE RECICLAJE MECÁNICO	31
FIGURA 5 RECICLADO QUÍMICO	33
FIGURA 6 PORCENTAJE DE RESIDUOS SOLIDOS	49
FIGURA 7 CADENA DE ABASTECIMIENTO DEL PET	56
FIGURA 8 PREFORMA Y BOTELLA PET	57
FIGURA 9 CENTRO DE ACOPIO ENKA, COLOMBIA	58
FIGURA 10 CADENA DE RECICLAJE	59
FIGURA 11 CADENA DE ABASTECIMIENTO IDEAL	67
FIGURA 12 CENTRO DE ACOPIO ENKA.....	68
FIGURA 13 MAQUINA COMPACTADORA HSM PET CP 4988	68
FIGURA 14 BIG BAG TIPO CONSTRUCCIÓN	69
FIGURA 15 TRASLADO POR MONTACARGA	70

I. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1. Planteamiento del problema

La contaminación por residuos sólidos es una problemática ambiental de gran relevancia en las principales ciudades y mares del mundo. Alrededor de 8 millones de toneladas de residuos llegan al océano cada día, siendo uno de los principales factores para la destrucción de la fauna y flora marina, ya que los residuos que se encuentran generalmente son objetos hechos a base de plástico como botellas, fundas, tapas etc. (ECOMUNDO, 2011).

Los plásticos en general son productos muy utilizados y fabricados en grandes cantidades, sin embargo, debido a su difícil degradación se han vuelto un serio problema ambiental a nivel mundial (Allsopp et al., 2007). Éstos son considerados materiales no biodegradables por el tiempo requerido para su descomposición. Aproximadamente les toma 500 años para degradarse naturalmente, comprenden a cerca del 11% de los residuos de todos los vertederos y se estima que se usa entre el 7 y 8% del de las reservas petróleo para su producción (Tepic, Pejakov, Lalic, Vukadinovic & Milisavljevic, 2013).

Las botellas PET comprenden un rubro importante en las toneladas de desecho plásticos que llegan al medio ambiente. Alrededor del mundo las ventas de botellas han crecido de forma dramática: de 182 mil millones de unidades vendidas en 2000 hasta 215 mil millones vendidos en 2006. Parte de estas unidades de aumento de 33 mil millones se deben a EE.UU. (Container Recycling Institute, 2008). El peso total de botellas y frascos de PET disponibles en los Estados Unidos para el reciclaje en 2013 fue 5.764 millones de libras al aumento del tres por ciento sobre 2012 (The association of postconsumer plastic recyclers, Napcor, 2008).

En Colombia el panorama no es diferente al resto del mundo, la contaminación con desechos sólidos es evidente a simple vista. Para el año 2013, la cantidad de residuos presentados aumento 0.7% con respecto al año 2011 y 8.4% con respecto al año 2012. Las ciudades con mayor cantidad de residuos presentados al servicio público de aseo son en su orden; Bogotá, D.C., Medellín, Cali, Barranquilla, Cartagena y Cúcuta (Rodriguez L. & Ramos C, 2013).

En Colombia aproximadamente 9.488.204 toneladas al año de residuos sólidos, de las cuales son recicladas 1.775.191 toneladas (Doku, 2015). De acuerdo con CEMPRE en el país se producen 84.000 toneladas de PET cada año, de las cuales solo se recicla el 24% (Grajales, Vidal & Ramírez, 2014). El material reciclado estilizado en productos textiles y diversas fibras.

Los costos del PET virgen tienen alta correlación con los costos de los hidrocarburos por lo cual pueden ser muy volátiles llegando a cifras muy inferiores a las del material reciclado (Plástico, 2011). Debido a los costos de recolección y procesamiento del PET reciclado lo pone en desventaja ante el virgen, es necesario ejecutar de manera eficiente dichos procesos para que mantengan un precio competitivo en el mercado.

De acuerdo con lo anterior se plantean los siguientes interrogantes:

¿Qué valor comercial tienen las botellas PET recicladas en la ciudad de Barranquilla, Colombia?

¿Qué estrategias se pueden implementar para minimizar el costo de recuperación y aumentar la tasa de reciclaje de Barranquilla, Colombia?

1.2. Justificación

El presente proyecto parte de la necesidad de identificar y caracterizar la cadena de abastecimiento de las botellas PET en la ciudad de Barranquilla. Esto permitirá plantear estrategias que contribuyan a incrementar la tasa de recolección del material reciclado al menor costo posible y minimizar su impacto en el medio ambiente.

La recolección, acopio y venta de materiales recuperables es un negocio lucrativo y de gran relevancia en la actualidad, no solo por la importancia de esta actividad para disminuir la contaminación relacionada con residuos sólidos, sino por los grandes ingresos generados por este sector. El negocio del reciclaje en Colombia mueve más de \$354.000 millones al año y representa una importante fuente de ingresos para el país (Dinero, 2009).

Los plásticos producen un gran daño en la flora y fauna alrededor del mundo, estos residuos han llegado hasta el océano, dejando a muchas especies marinas en riesgo de ingerir o quedar atrapadas en restos plásticos. Numerosos estudios sobre la basura marina han mostrado cómo los plásticos constituyen entre el 60% y el 80% del total de los desechos (Derraik, 2002).

Para la producción de del PET se utilizan grandes volúmenes de materias primas no renovables, llevando consigo una huella ecológica que inicia desde su producción. El PET está constituido de petróleo crudo, gas y aire. Un kilo de PET es 64% de petróleo 23% de derivados líquidos del gas natural y 13% de aire (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2004).

La recuperación de las botellas PET no solo contribuye a mitigar la contaminación por residuos sólidos, sino que reduce el consumo de petróleo crudo, gas natural y

las emisiones tóxicas al ambiente. Para solucionar la problemática se ha destacado la Logística Inversa, entendiendo por ésta la recuperación y reciclaje de envases, embalajes y residuos peligrosos, así como los procesos de retorno de excesos de inventario, devoluciones de clientes, productos obsoletos e inventarios estacionales (Reyes, V. Zavala, D. & Gálvez, J, 2008).

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Caracterizar la cadena de abastecimiento de botellas de tereftalato de polietileno para plantear o proponer estrategias que permitan minimizar los costos de recolección y aumentar la tasa de recuperación en Barranquilla, Colombia.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Contextualizar sobre las características y propiedades del tereftalato de polietileno.
- Revisar en la literatura la importancia del reciclaje y de la logística inversa como solución para optimizar los costos y el volumen de recuperación de botellas PET.
- Contextualizar sobre el marco legal del reciclaje y la contaminación ambiental relacionadas con las botellas PET en Colombia.
- Determinar los precios de comercialización de las botellas PET recicladas.
- Identificar y analizar los métodos de manipulación y almacenaje del material reciclado.

1.4. Alcances y Limitaciones

La investigación y desarrollo del presente proyecto se dará en un ámbito local (la ciudad de Barranquilla y su área metropolitana), regional (región caribe) y nacional en cuanto a la selección de empresas proveedoras dedicadas al reciclaje de residuos de tereftalato de polietileno (PET).

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Marco de Referencia

2.1.1. Tereftalato De Polietileno (PET)

PET son las iniciales en inglés del tereftalato de polietileno. Químicamente, el PET es un polímero que se obtiene mediante una reacción de policondensación entre el ácido tereftálico y el etilenglicol. Pertenecen al grupo de materiales sintéticos denominados poliésteres. Es un polímero termoplástico lineal, con un alto grado de cristalinidad. Como todos los termoplásticos, puede procesarse mediante extrusión, inyección, inyección y soplado de preforma, y termoconformado. Para evitar el crecimiento excesivo de las esferulitas y lúmulas de cristales, este material debe ser rápidamente enfriado, con lo cual se logra una mayor transparencia. La razón de su transparencia al enfriarse rápido, consiste en que los cristales no alcanzan a desarrollarse completamente, y su tamaño no interfiere con la trayectoria de la longitud de onda de la luz visible, de acuerdo con la teoría cuántica.

También es conocido como polímeros macromoleculares que constan de cadenas lineales y ramificadas, que mantienen su cohesión mediante fuerzas intermoleculares. Su intensidad depende entre otros, del tipo y número de ramificaciones o cadenas laterales. Se caracterizan principalmente porque como consecuencia del calor se vuelven moldeables.

Los plásticos se encuentran agrupados en grupos de acuerdo a sus características físicas y químicas e identificadas por números según su tipo. El tereftalato de polietileno está clasificado como un termoplástico, registrado con el número uno (1) del código de identificación de resinas (EPA, 2014). Este código es

internacional está conformado por un triángulo formado por tres flechas y un número uno como identificador del PET. Este sello se encuentra en la parte inferior de los envases.







Termoplásticos			Aplicaciones	Usos después del reciclado
Poliétileno tereftalato	PET		Botellas, envasado de productos alimenticios, moquetas, refuerzos neumáticos de coches.	Textiles para bolsas, lonas y velas náuticas, cuerdas, hilos
Poliétileno alta densidad	PEAD		Botellas para productos alimenticios, detergentes, contenedores, juguetes, bolsas, embalajes y film, laminas y tuberías.	Bolsas industriales, botellas detergentes, contenedores, tubos
Poliétileno de baja densidad	PEBD		Film adhesivo, Bolsas, revestimientos de cubos, recubrimiento contenedores flexibles, tuberías para riego,	Bolsas para residuos, e industriales, tubos, contenedores, film uso agrícola, vallado
Policloruro de vinilo	PVC		Marcos de ventanas, tuberías rígidas, revestimientos para suelos, botellas, cables aislantes, tarjetas de crédito, productos de uso sanitario.	Muebles de jardín, tuberías, vallas, contenedores
Polipropileno	PP		Envases para productos alimenticios, Cajas, tapones, piezas de automoviles, alfombras y componentes eléctricos.	Cajas multiples para transporte de envases, sillas, textiles
Poliestireno	PS		Botellas, vasos de yogures, recubrimientos	Aislamiento térmico, cubos de basura, accesorios oficina

Figura 1 Propiedades uso y código de las resinas de plástico propiedades uso y código de las resinas de plástico.

Fuente: CYMA, 2006 código de identificación del PET.

Estos símbolos fueron establecidos por la Sociedad de la Industria de Plásticos (SPI) en 1988, y ayudan al consumidor o al interesado en identificar la cantidad exacta de resinas que contiene las botellas de plástico. Esto se hace con el fin que sea más fácil su proceso de reciclado.

El PET está constituido de petróleo crudo, gas y aire. Un kilo de PET es 64% de petróleo, 23% de derivados líquidos del gas natural y 13% de aire. A partir del petróleo crudo se extrae el paraxileno y se oxida con el aire para obtener ácido tereftálico. El etileno, que se obtiene principalmente a partir de derivados del gas

natural, es oxidado con aire para formar el etilenglicol. La combinación del ácido tereftálico y el etilenglicol produce como resultado el PET.

Su mayor aplicación se encuentra en Botellas de gaseosas, agua, aceite y vinos; envases farmacéuticos; tejas; películas para el empaque de alimentos; cuerdas, cintas de grabación; alfombras; zuncho; rafia; fibras.

En Colombia, la industria del plástico se ha caracterizado por ser, en condiciones normales, la actividad manufacturera más dinámica de las últimas tres décadas, con un crecimiento promedio anual del 7%. Por eso se determinó que para el 2000 habría alcanzado una producción de 2.215 millardos de pesos y un valor agregado de 1.073 millardos de pesos, con una contribución al total industrial nacional del 4% en las dos variables. Para esa misma temporada la energía utilizada para la realización de estos materiales fue de 614 millones de kilowatios-hora, lo que es equivalente al 5,7% de lo que le correspondía al consumo total de la actividad manufacturera.

Con el pasar de los años fue notorio el crecimiento en la exportación de plásticos hacia otros países con una participación del 3,3% en la sumatoria de las exportaciones en el ámbito industrial. Esto fue a mediados del 2003 donde alcanzó a exportar 249 millones de dólares según estudios realizados, las importaciones de productos manufacturados de plástico alcanzaron los 260 millones de dólares, equivalentes al 2,2% de las importaciones industriales.

Una de las preocupaciones más relevantes ha sido los impactos ambientales que se producen en el momento que se transforma la resina virgen donde se produce emisiones que afectan gravemente a la atmosfera por consiguiente la finalidad del material post- consumo dando como resultados los vertimientos y los botaderos a cielo abierto, que se observa en cada uno de los departamentos de Colombia, por

eso se ha optado como medida de prevención y minimización, el reciclaje y el rehusó de dicho material.

Según la Política de Manejo Integral de Residuos Sólidos, expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, esta práctica se ha favorecido por la falta de aplicación de tecnologías alternativas para el tratamiento, aprovechamiento y disposición final de los residuos; falta de coordinación interinstitucional del tema; falta de recursos financieros por parte de los municipios; énfasis en la determinación de los costos de recolección y transporte de forma que la tarifa de aseo no involucra los costos reales de un sistema de eliminación, tratamiento o disposición final; falta de empresas de aseo consolidadas que ofrezcan alternativas en el manejo de los residuos sólidos, entre otras, todo lo cual origina un desconocimiento a nivel municipal de la existencia de tecnologías alternas para el manejo de los residuos sólidos.

Desde 1997 el Estado Colombiano ha tomado medidas para reglamentar el aprovechamiento y valorización de los residuos sólidos, como son: La Política de Manejo Integral de Residuos Sólidos; El Decreto 1713 de 2002; La Resolución 1045 de 2003 y una serie de disposiciones a nivel legal que impulsan la separación en la fuente de los diferentes tipos de residuos domiciliarios, la recolección selectiva de los residuos, la existencia de centros de acopio y el fomento de las actividades propias de la recuperación de los residuos como el reciclaje y el compostaje. La resolución mencionada fue derogada por ultima por la resolución 0477 del 2004 modificando los plazos para iniciar la ejecución de los planes integrales de gestión de residuos.

Algunos de los beneficios logrados en la industria del plástico son los siguientes:

- Máxima eficiencia con un consumo mínimo de recursos naturales. Sólo el 5% del petróleo que se consume mundialmente es usado para producir plásticos. El 95% se reparte entre producción de energía, transporte, climatización, productos químicos y otros (Arias, Blach & Parra, 2012).
- Menor consumo de energía para su producción y transformación que otros materiales porque se procesan a temperaturas menores.

En Colombia, la industria de productos plásticos consume el 5,7% de energía del total industrial, comparado con sectores como papel (10%), alimentos (16%), textiles (8,6%), minerales no metálicos (9,5%) e industrias básicas de hierro y acero (14%). Transportar mayor cantidad de productos empacados en plástico, reduciendo el consumo de combustible y la contaminación.

Según estudios realizados por la asociación de recursos del contenedores del PET (NAPCOR), Hoy en día el PET es más ligero, por tanto los productos envasados en PET puede ser embalados y enviados eficientemente, lo que permite empaques secundarios más ligeros, reduciendo el consumo de combustible y las emisiones de gases de efecto invernadero durante su transporte. Las propiedades geométricas únicas del PET significan más oportunidades potenciales para la eficiencia de pesos más ligeros. Para maximizar esta eficiencia y el uso menor de resina plástica, los fabricantes de PET continúan haciendo sus empaques más ligeros siempre y cuando sea posible manteniendo al mismo tiempo la fuerza y la integridad del empaque.

El uso adecuado de los residuos sólidos de los pasticos es muy importante ya que este representa a la basura con mayor cantidad de energía por combustión.

2.1.2. Procesos de transformación para los termoplásticos

A continuación se presentan los diferentes procesos más comunes de transformación de termoplásticos que convierten una materia prima, "polímero", en un producto terminado o intermedio:

- Extrusión.
- Extrusión-espumado.
- Calandrado.
- Recubrimiento.
- Moldeo por Inyección.
- Moldeo por Compresión.
- Inyección-soplado.
- Extrusión-soplado.
- Rotomoldeo.
- Termoformado (Al vacío - A presión - Mecánico).

En los procesos para polímeros termoplásticos se desarrollan tres etapas fundamentales; en la primera, el polímero es llevado a su estado elasto-plástico mediante el incremento de su energía (que puede ser por suministro de energía térmica y/o trabajo mecánico) para darle la forma deseada; en la segunda etapa, el polímero se hace fluir por presión, ya sea a través o dentro de una cavidad con el diseño previsto; y finalmente, en la tercera etapa, se procura fijar la forma adquirida disminuyendo el contenido de energía de la masa del polímero, mediante enfriamiento del polímero por refrigeración.

Para el caso del PET los procesos de transformación son extrusión, moldeos por inyección, moldeo por soplado, inyección soplado y por último se encuentran el proceso de impresión. (Arévalo C, 2004)

2.1.2.1. Extrusión

La extrusión es el proceso continuo mediante el cual se plastifica, transporta y dosifica la masa de polímero fundido a través de una boquilla o molde, donde toma la forma del producto final. En la extrusión, el plástico recibe una nueva forma, después de haber sido fundido completamente.

La extrusora es el componente principal de un proceso de extrusión. La componen un motor, una caja de velocidades, un cilindro donde va alojado un tornillo en forma helicoidal; el cual empuja y comprime el volumen de polímero y finalmente una matriz en el extremo del sistema tubular el cual da la forma al polímero; sin embargo, un sistema de extrusión consiste de varios otros componentes trabajando en conjunción entre ellos (Rodríguez, 2004).

2.1.2.2. Moldeo por Inyección

Es el proceso cíclico en el cual el polímero se procesa en diferentes etapas que conforman el ciclo de inyección. La conversión se lleva a cabo al plastificar el polímero termoplástico e inyectarlo y hacerlo fluir por medio de alta presión dentro de la cavidad de un molde, donde nuevamente el polímero es llevado al estado sólido tomando la forma de la cavidad en que se solidificó.

El proceso se lleva a cabo en un equipo de inyección, "inyectora", que consta de:

- Unidad de Plastificación / Inyección.
- Unidad de Moldeo.
- Unidad de Control.
- Unidad de Pot.
- Encía.

Existen modificaciones o implementaciones para algunos procesos específicos de moldeo por inyección en los que, bien sea por el proceso o por el material, se requieren implementos especiales tanto en la unidad de plastificación, como en la unidad de moldeo o aún en el mismo molde.

Hay tres tipos de maquinaria para el proceso de inyección: hidráulica, eléctrica e híbrida. En la inyección con sistema hidráulico, el aspecto ambiental más relevante es el aceite proveniente de fugas frecuentes en este tipo de sistemas. Los procesos de inyección totalmente eléctricos normalmente consumen menos energía que los hidráulicos y tienen la ventaja de no generar contaminación por fugas de aceite. Igualmente, los sistemas eléctricos son más silenciosos que los hidráulicos.

- **Tipos de molde de inyección:** Moldes de colada caliente: son aquellos donde los canales de conducción del polímero fundido se mantienen a una temperatura tal, que el plástico nunca se solidifica, puesto que en ciclo de enfriamiento únicamente se solidifica el producto inyectado y no se generan residuos sólidos en la fase de expulsión de la pieza inyectada.

Moldes de colada fría: en ellos los canales de conducción del polímero fundido no se mantienen a alta temperatura, debido a que el plástico que contienen se solidifica durante la fase de enfriamiento, simultáneamente con la pieza inyectada. Este residuo se conoce como arañas o velas y puede ser recuperado.

- **Moldeo por Inyección – Soplado:** Esta ocurre en una inyección convencional que permite obtener una forma previa denominada "preforma". Luego, la preforma se sopla para que adquiera su forma final y, después de enfriarse, se pasa a la última estación para ser extraída de la máquina.

A diferencia de otros procesos, el proceso de inyección soplado requiere dos moldes funcionando. El primero de ellos permite moldear la preforma, en tanto que el segundo se emplea para proporcionar al artículo formado sus dimensiones finales.

Los aspectos ambientales asociados al proceso se asemejan en la primera etapa (fabricación de las preformas) a los de inyección. En la segunda etapa, (soplado de las preformas) pueden generarse residuos sólidos por rechazo de preformas de mala calidad o por producto mal soplado, los cuales pueden ser aprovechados.

2.1.3. Logística Inversa

En base a la problemática medio ambiental que viene padeciendo el mundo desde que inicio la revolución industrial, en las últimas décadas se ha hecho necesario implementar planes de prevención, mitigación y solución de los impactos ambientales generados por la industrialización.

Por esta razón se ha hecho necesario que las industrias opten por implementar estrategias como la logística inversa que les permitan captar nuevamente los materiales que han producido, vendidos y desechados por el cliente final. De esta manera disminuyen el impacto ambiental que generan en el desarrollo de su actividad económica.

La logística inversa podría definirse como: “una cadena de suministro que es rediseñada para gestionar eficientemente el flujo de productos destinados al reprocesamiento, la reutilización, el reciclaje o la destrucción, usando correctamente todos sus recursos” (Dowlatsahi, 1998).

2.1.3.1. Actividades de la logística inversa

Para garantizar el desarrollo eficiente de la logística inversa, existen una serie de actividades claves que deben ejecutarse de manera controlada y bajo un estricto análisis, esto con fin de evitar pérdidas y sobreutilización de recursos. Dichas actividades son las siguientes:

Recopilación: consiste en la captación del material yendo a diversos puntos o recibéndolo en un centro de acopio de materiales desechados. Normalmente para el primer caso implicar llegar al punto de ubicación de cada cliente final para recibir los materiales o productos. Para el segundo caso se destina un punto como centro de acopio donde se reciben los clientes para almacenar temporalmente el producto y posteriormente será transportado a su destino.

Transporte: siendo esta una de las actividades más costosas debe ser cuidadosamente planificada. En esencia su objetivo es trasladar el material recopilado hacia el punto destino, el cual puede ser la planta de producción de la empresa.

Almacenaje: debido a que antes de ser reprocesados los materiales reciclados se deben clasificar e inventariar, es necesario almacenarlos por un tiempo determinado.

Inspección: con esta se busca determinar el estado en el que se encuentra los materiales o productos retornados para posteriormente clasificarlos.

Clasificación: una vez inspeccionados de acuerdo a los criterios de dicha actividad, se clasifican según la finalidad o el proceso para el cual serán destinados los materiales.

Desembalaje: consiste en retirar los materiales envoltorios y de protección del producto y desensamblar. Esta actividad es crítica en el proceso de reciclado, debido a que mediante la misma se pueden determinar que partes del producto pueden ser reutilizadas. El personal que efectúa dicha labor debe ser calificado y competente, así, se garantizara el mejor aprovechamiento de los materiales y componentes reutilizables. (Fernández I, 2005).

2.1.4. Reciclaje y Reutilización

Este proceso comenzó a principio de siglo, desde que existen los desechos eliminados por los seres humanos, inconscientemente se han reciclado. El volumen de residuos o desperdicios era menor, pero con el paso del tiempo y el crecimiento acelerado que se ha presentado a nivel industrial y tecnológico la basura logró alcanzar grandes volúmenes, el cual ha generado un daño severo en el ecosistema.

Por reciclaje se puede interpretar como una estrategia de gestión de residuos sólidos. Este resulta más conveniente que la incineración o el vertido, y claramente más amigable con ambiente (Lund, 2011).

La primera botella reciclada según estudios de la NAPCOR fue en 1977. Se puede decir que el reciclaje es una de las estrategias de la logística inversa ya que es un ciclo completo que es repetitivo, y se hace la gestión de los residuos sólidos generando así ambientes saludables, cuando se utiliza botellas recicladas se disminuye en un 84% el uso de energía y un 71% las emisiones de gases de efecto invernadero. (Napcor, 1977).

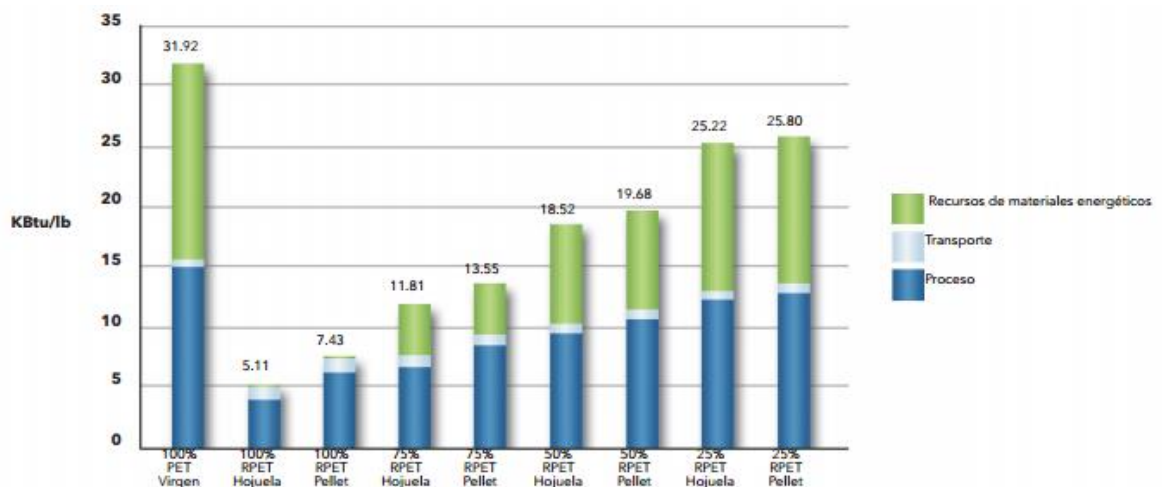


Figura 2 Comparación de PET virgen a niveles variables de PET reciclado: Energía
Fuente: Informe Final de LCI del 100% de PEAD post-consumido y resina PET reciclada de envases post-consumidos y empaques, 7 de abril 2010. GWP del metano es 25, para el N2O es 298, POR IPCC 2007.

En la figura anterior se puede notar la similitud entre el uso de resina virgen y el rehusó de PET reciclado, donde se identifica los recursos de materiales energéticos, el transporte y por último el proceso como tal.

El reciclaje permite proteger el medio ambiente dando como resultado un ecosistema sostenible, permite la conservación de los recursos naturales, se genera empleo para las personas encargadas de esta actividad, se evita la contaminación, se ahorra energía en la producción de materia virgen.

El reciclaje también se conoce como Recuperación o aprovechamiento al que se someten materiales usados o desechos para que puedan ser nuevamente utilizables, en su uso original u otro: la recogida selectiva de basuras para su reciclaje es una medida que significa un beneficio para el medio ambiente y supone un importante ahorro de materias primas. Se denomina recolección selectiva a la acción de recolectar técnicamente los residuos reciclables, efectuada por su generador o por la entidad prestadora del servicio público de aseo.

El proceso de recolección debe ser antecedido por la separación en la fuente de los residuos aprovechables por parte del generador, lo que es condición necesaria para llevar a cabo una recolección selectiva de estos residuos. La separación en la fuente de los residuos plásticos pos-industriales o post-consumo por el generado. Actualmente se emplea el reciclaje de PET para la creación de casas a base de este material, hay entidades como Pepsico que utilizan botellas recicladas como la Ecogreen de la 7up, las botellas de brisa que con su botella dale la vuelta, El reciclaje puede ser mecánico, químico y por incineración.

2.1.4.1. Reciclaje mecánico

Reciclaje mecánico pos-industrial: Es el que tiene lugar dentro del mismo proceso en que se genera el residuo. Hace referencia al reciclaje industrial y se lleva a cabo normalmente mediante la molienda y la reincorporación del material plástico recuperado al proceso de fabricación.

Reciclaje mecánico pos-consumo: Se denomina así al proceso para recuperar, mediante reciclaje mecánico, los residuos de productos hechos con materiales plásticos, una vez que éstos han terminado su vida útil.

Casi todos los plásticos pueden reciclarse con éxito para segundas aplicaciones, sin que ello repercuta de manera significativa en el medio ambiente. Una vez limpios y triturados, el proceso de reciclaje mecánico de los residuos plásticos es muy parecido al proceso original de producción de las distintas aplicaciones. Las tasas de reciclaje son más altas cuando existe un suministro constante de residuos limpios de un material único. Sólo las empresas con conocimientos en la mezcla de plásticos y aditivos pueden procesar satisfactoriamente los residuos de plástico mezclados puesto que algunos de ellos pueden procesarse juntos mientras que otros son incompatibles.

Sin embargo, no siempre los residuos plásticos recuperados pueden ser sometidos a reciclaje primario o secundario, ya sea por presentar una alta contaminación con sustancias químicas orgánicas e inorgánicas o por tener un alto grado de deterioro en sus propiedades mecánicas. Por ello es necesario considerar las otras dos alternativas de reciclaje para la gestión de este tipo de residuos plásticos. Debe evitarse el reciclaje mecánico de residuos plásticos pos-consumo que hayan tenido contacto con productos tóxicos o peligrosos. Por ningún motivo el material recuperado puede ser utilizado para elaborar productos que tengan contacto directo con alimentos, productos del sector farmacéutico o para elaborar juguetes. Los materiales plásticos que presenten alta contaminación microbiológica o con sustancias tóxicas y que puedan presentar un riesgo a la salud pública, deben ser sometidos a procesos de combustión, técnica y ambientalmente controlados.



FIGURA 3 Mapa de proceso de reciclado mecánico
Fuente: Arévalo, C., (2004) guías ambientales del sector plástico

Los residuos de PET recuperados se destinan principalmente a la producción de fibra, ya sea en hilos finos para tejidos o en fibras más gruesas para material aislante. Otras aplicaciones incluyen: tejas, zunchos, rafias, escobas, cepillos. El PET contaminado con otros polímeros no es apto para el reciclado mecánico, pero puede utilizarse para el reciclado como materia prima por medios químicos. Existen equipos y tecnologías para hacer reciclaje de PET llamados "botella a botella". Es decir, que el recuperado de las botellas de PET se usa para hacer nuevamente botellas para contacto con alimentos. En estos procesos se lavan las botellas molidas con una solución de soda caustica que elimina una capa pequeña de PET en la superficie de las botellas, eliminando así posibles contaminantes presentes en las botellas recuperadas de las corrientes de post-consumo. Después de lavado, el PET se seca y cristaliza en vacío, de tal manera que se recupera su peso molecular y su viscosidad intrínseca. Luego, el material se peletiza y se dispone para fabricar nuevamente botellas. También se emplean como materiales para blindaje y como materiales de relleno para chaquetas.

2.1.4.2. Reciclaje químico

Es el tratamiento de residuos plásticos mediante procesos físico-químicos, en los cuales las moléculas de los plásticos son craqueadas, con el fin de obtener de ellos monómeros o productos con algún valor para la industria petroquímica y convertirlos nuevamente en materias primas. Es aplicado principalmente a aquellas corrientes de residuos complejas de manejar a través de las técnicas de reutilización o reciclaje mecánico, tales como plásticos compuestos, partes de automóviles, cables, tapetes, textiles, etc.

Algunos procesos de reciclaje químico, como la pirolisis, ofrecen la enorme ventaja de que no requieren de una separación por tipo de resina plástica, lo que permite aprovechar residuos plásticos mixtos, es decir, aquellos provenientes de la corriente de los residuos sólidos municipales, que son separados de ésta pero no clasificados entre sí por tipo de resina.

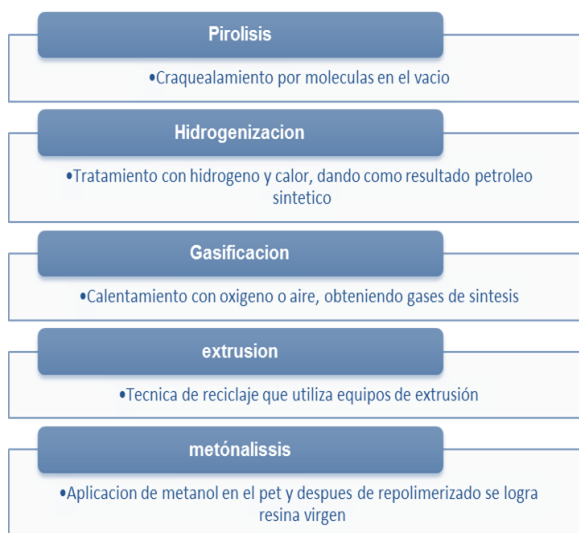


FIGURA 4 Mapa de reciclaje mecánico
Fuente: Arévalo, C. (2004) guías ambientales del sector plástico.

El reciclaje químico comenzó a ser desarrollado por la industria petroquímica con el objetivo de lograr las metas propuestas para la optimización de recursos y la recuperación de residuos. Se estableció así una alternativa para el reciclaje mecánico, superando las limitaciones que éste presenta y contribuyendo a reducir los costos de recolección y clasificación, así como a la obtención de productos finales de alta calidad. El éxito de la mayoría de tecnologías de reciclaje químico depende de la disponibilidad constante de grandes cantidades de desechos plásticos, ya que la economía de escala es determinante para que sean competitivas frente a la producción de polímero virgen. A medida que los precios de petróleo aumentan, estas iniciativas son más interesantes. En general, el reciclaje químico se encuentra hoy en una etapa experimental avanzada. Es de suponer que, en los próximos años, pueda transformarse en una poderosa y moderna herramienta para tratar los residuos plásticos. El éxito dependerá del entendimiento que pueda establecerse entre todos los actores de la cadena: petroquímica, transformadores, grandes usuarios, consumidores y municipios, a los fines de asegurar la unidad de reciclado y que la «materia prima», es decir los residuos plásticos, lleguen a una planta de tratamiento. La sociedad debe estar preparada para tal cambio de tecnología en lo que se refiere al tratamiento de los residuos plásticos. Por su parte, la industria petroquímica está trabajando en la definición de especificaciones técnicas a fin de garantizar la calidad de los productos obtenidos a través del reciclaje químico.

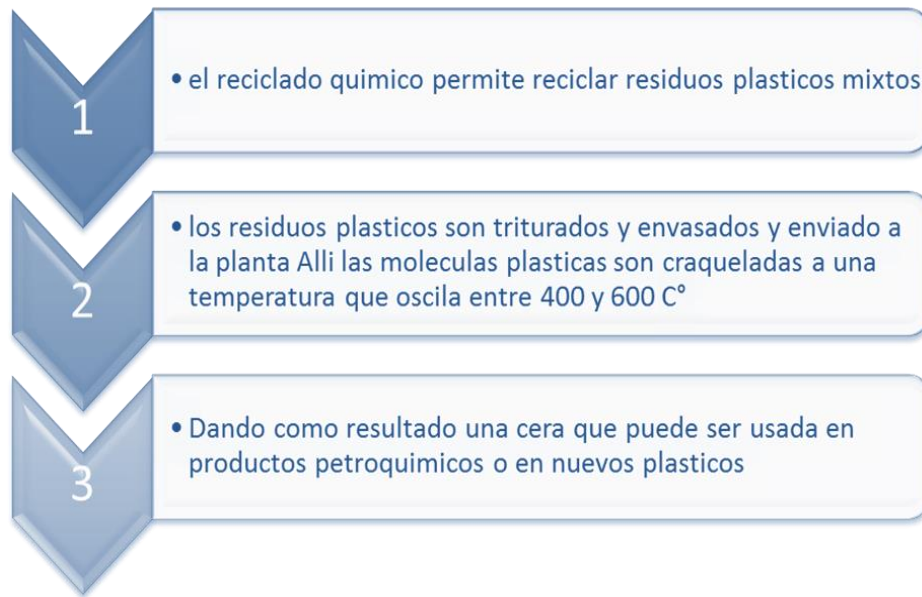


FIGURA 5 Reciclado Químico

Fuente: Association Of Plastics Manufactures In Europe (2001): Manual de valoración de los residuos del plástico fipma y plastividad. 3 edicion pag 40

2.1.4.3. Incineración para recuperación de energía

Es el proceso que, mediante combustión controlada aprovecha el alto contenido energético de los residuos plásticos como combustible alternativo. Aunque algunos plásticos puedan reciclarse, con ventajas para el medio ambiente, muchos residuos plásticos consisten en pequeños objetos dispersos entre otros materiales de residuos. Separar y limpiar esos residuos para su reciclaje puede entrañar una carga ambiental mayor que las ventajas del reciclaje, incluso antes de tenerse en cuenta el costo económico. Asimismo, podría haber residuos del proceso de reciclaje que no puedan ser reciclados a su vez.

En caso de que el reciclaje no pueda justificarse, la recuperación de energía puede ser una forma eficaz en función de los costos de recuperar un valor intrínseco de los residuos plásticos.

Todos los residuos plásticos que no son susceptibles de aprovechamiento a través de reciclaje mecánico o químico, pueden ser utilizados como combustible debido al alto poder calorífico que contienen y a su alto valor energético. Los residuos plásticos no son otra cosa que hidrocarburos, derivados del petróleo o del gas natural. De hecho, son de las pocas aplicaciones del petróleo o gas que no se queman instantáneamente en el transporte o en la calefacción. En general, los residuos plásticos son excelentes combustibles, merced a su altísimo poder calorífico.

Aun los que contienen halógenos tienen un valor energético similar al del papel y cartón. Cuando se mezclan con otros residuos, los plásticos ayudan a la combustión de residuos húmedos o putrescibles. El método más eficaz de recuperación de energía (hasta el 85%) es la incineración de los residuos hasta producir vapor a alta presión para la generación de electricidad, por la baja presión para uso industrial y agua caliente para la calefacción de los hogares. Sin embargo, la mayoría de las plantas en las que se recupera energía de los residuos no intenta conseguir esos tres fines. Los residuos plásticos son demasiado valiosos como para disponerlos en un relleno sanitario, debido a que pueden ser aprovechados como una poderosa fuente de energía. La incineración limpia con recuperación energética representa ya la principal forma de valorización de los residuos plásticos en Europa, los Estados Unidos y Japón, aunque es poco utilizada en los países en vías de desarrollo.

Según la estrategia de manejo de residuos seleccionada, los residuos plásticos podrán ser incinerados de diferentes maneras:

- **Residuos plásticos solos:** Consiste en residuos exclusivamente plásticos ya sea de procesos de reciclaje o separados de la corriente general de

residuos y procesados para producir un combustible con una energía y un contenido de polímero específico. De esta manera se obtiene una mezcla de diferentes tipos de plásticos que en conjunto conforman un combustible excelente de altísimo poder calorífico. Muchos incineradores no están diseñados para soportar las temperaturas que se generan cuando se utiliza solamente un combustible con un valor calorífico tan alto, por lo que debe diluirse con un material de valor calorífico más bajo.

- **Empaques transformados en combustible:** En este caso lo que se hace es separar todo tipo de empaques de la corriente de los residuos sólidos urbanos. De este modo, a la incineración entrarán empaques de distintos materiales, fundamentalmente cartón, plástico y papel que se procesan en forma de granos para conseguir un valor energético aún más alto. Este tipo de residuos puede ser incinerado en hornos habilitados para combustibles sólidos convencionales.
- **Residuos sólidos urbanos:** Se trata de residuos no tratados de uso doméstico y de residuos de establecimientos de comercio y restaurantes, que se queman en grandes instalaciones de "combustión en masa". Los residuos sólidos urbanos tienen un valor energético de tan sólo 10 MJ/kg y una densidad muy baja. Su contenido en plástico ayuda en la combustión de materiales húmedos o putrescibles en la corriente de residuos.

2.1.4.4. Proceso de reciclaje

- **Separación y clasificación:** Los materiales plásticos que llegan al centro de acopio o estación de transferencia deben ser inicialmente separados de los demás residuos aprovechables, como son el vidrio, el papel, la hojalata, los textiles, etc., cada uno de los cuales es enviado al proceso de aprovechamiento respectivo. Al centro de acopio o estación de transferencia debe llegar la bolsa de materiales que contenga los residuos que son susceptibles de aprovechamiento, tal como lo dispone el Decreto 1713 de 2002.

Para algunos procesos y aplicaciones del reciclaje no se requiere la separación de los materiales plásticos presentes en los residuos por tipo de resina. Dependiendo de las proporciones requeridas de cada plástico en las aplicaciones a las que vayan a ser destinados, pueden utilizarse tal como llegan del proceso de recolección, sin previa separación o acondicionamiento. En otros procesos los residuos plásticos deben clasificarse por tipo de plástico específico, antes de su procesamiento para una segunda aplicación.

En el caso de los artículos de plástico pequeños no es necesario, debido a que éstos pueden utilizarse para la recuperación de energía. La separación puede llevarse a cabo según diferentes criterios de acuerdo con:

- **Clasificación por tipo de artículo:** La línea de plásticos mezclados es separada por tipos de artículos así como envases (tatucos), películas (bolsas o chuspas), productos rígidos (canastas de transporte, tubería, carcasas de electrodomésticos y computadores, empaques, partes de automóviles, etc.).

- **Macroselección:** Esta operación implica tomar cada línea de artículos plásticos enteros desechados y separarlos, ya sea en forma manual o automática, de acuerdo al tipo de resina. Para identificar los artículos plásticos con alto potencial de reciclaje, la Sociedad de Industrias Plásticas de los Estados Unidos desarrolló el sistema de códigos basado en el símbolo universal del reciclaje, que ha sido promovido en Colombia por ACOPLASTICOS. Para separar los componentes plásticos en corrientes de un plástico único es indispensable tener conocimientos básicos sobre las diferentes resinas, Si en los procesos de transformación posteriores no se tolera la mezcla de colores, los materiales plásticos seleccionados por tipo de resina deben ser igualmente diferenciados por color a través de sistemas de separación manual o automáticos. La clasificación por color puede hacerse según las siguientes categorías: transparentes, verdes, naturales o pigmentados.

Existen técnicas de separación que utilizan diversos métodos y en algunos casos implican inversiones iniciales relativamente grandes pero costos de operación menores. Algunas de las tecnologías ya gozan de reconocimiento general y se las puede utilizar, pero otras se encuentran aún en las etapas iniciales de desarrollo.

- **Limpieza y Acondicionamiento:** Realizadas las etapas de separación en la fuente, recolección selectiva y clasificación, los residuos plásticos aprovechables deben ser acondicionados para garantizar la calidad del material disponible para su posterior transformación. El acondicionamiento es el conjunto de todas las operaciones necesarias y conducentes a eliminar partes ajenas del residuo que está siendo adecuado y/o a prepararlo para la siguiente etapa de su aprovechamiento. En algunos casos los residuos plásticos se pueden utilizar en ciertos procesos de aprovechamiento sin requerir ningún acondicionamiento; por ejemplo, para producir madera plástica, asfaltos o aglomerados. En otros casos,

se requiere que dichos materiales sean clasificados, separados y acondicionados por la incompatibilidad tanto de materiales diferentes, como de elementos extraños. Las operaciones involucradas en la etapa de acondicionamiento pueden incluir, según se requiera:

- **Eliminación de materiales ajenos:** Se les deben retirar las tapas, los anillos de seguridad, las etiquetas y elementos que no son del mismo material de la botella a cada uno de los envases.

Rasgado, trozado, lavado y secado El material se somete a un proceso de limpieza, con agua y detergentes de baja espuma. Posteriormente se seca con el fin de eliminar su humedad.

Reducción de tamaño Molido, crispeteado o aglutinado, triturado (fino), cristalización (en caso del PET).

Microselección Implica la separación de los residuos plásticos por tipos, después de haber sido triturados o cortados en pequeños trozos de aproximadamente 3 mm - 6 mm de diámetro. Es necesario utilizar técnicas de microselección en situaciones donde las concentraciones pequeñas de contaminantes identificados pueden afectar negativamente la calidad de la aplicación final o el posterior procesamiento.

- **Transporte y almacenamiento:** En el transporte de residuos plásticos listos para reciclar, se requiere que se preste una considerable atención a la estabilidad y protección de la carga. Las balas y bolsas no deben apilarse por encima de 2,5 metros de altura y la carga debe asegurarse con lonas impermeabilizadas o cuerdas fuertes. Cuando se descargue material plástico

aprovechable debe ponerse especial cuidado en garantizar la seguridad del personal. En el almacenamiento lo ideal es que todos los materiales plásticos destinados al reciclaje, ya sea triturados o embalados, se acopien sobre superficies de hormigón limpias. Si los residuos plásticos se almacenan en interiores, debe disponerse de instalaciones automáticas de extinción por aspersores para prevenir grandes incendios o facilitar su extinción si llegara a producirse. Si se almacenan en exteriores deben protegerse contra las inclemencias del tiempo y la contaminación, mediante lonas impermeabilizadas o piezas de polietileno negras. La contaminación de los plásticos por el polvo y la tierra puede evitarse colocándolos sobre tarimas. Debe establecerse un límite estricto a la altura de las pilas para evitar que el personal sufra daños si una bala llegara a caer. El espacio de almacenamiento no debe quedar completamente ocupado por los residuos plásticos. El equipo con que se manipula el material y los vehículos de servicios de emergencia deben tener libre acceso a todas las zonas. Para los trabajadores deben preverse muchos corredores de salida de la zona de almacenamientos amplios, bien señalizados y fáciles de encontrar. La zona de almacenamiento debe estar protegida contra la entrada de personal no autorizado y el equipo de extinción de incendios debe ser de fácil acceso. Estas precauciones son similares a las que se toman con muchos otros materiales.

2.2. Marco Legal

Es importante resaltar los términos legales que rigen el reciclaje, para determinar si es legal la estrategia planteada como posible solución para la minimización del impacto ambiental generado por las botellas de tereftalato de polietileno, las entidades encargadas de la parte ambiental de Colombia promoverán programas sobre cuál debe ser el manejo adecuado de los residuos sólidos y por ende el reciclaje, lo que se quiere es darle precedencia a la prevención y por ende a la minimización de los residuos, antes que ya el daño este causado, como se dice es mejor prevenir que lamentar ya que los daños presentados por este material al ecosistema son irrevocables en su totalidad.

Por eso hay leyes, decretos que respaldan estas actividades con el fin de tener un ambiente saludable y dar como resultado un mejor estilo de vida y no se pierde el valor intrínseco del material porque es utilizado en otras actividades.

2.2.1. Leyes

- Constitución política de Colombia de 1991. carta magna de la República de Colombia que busca el bienestar del pueblo colombiano.
- Ley 09 de 1979: Código sanitario nacional. Artículos 23 al 31. Restricciones para el almacenamiento, manipulación, transporte y disposición de los residuos sólidos.
- Ley 99 de 1993: Se crea el ministerio del medio ambiente y se Organiza el SINA.

- Ley 142/1994 Gobierno Nacional, Establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios, entre los que se encuentra el servicio de aseo, y reglamenta su administración a cargo de los municipios.
- Ley 253/1996 Gobierno Nacional, Aprobación del Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y su eliminación por parte de los países generadores. (suscrito en Basilea el 22 de marzo de 1989).
- Ley 430/1998 Gobierno Nacional, Manejo, transporte y disposición final de escombros.
- Ley 1259 de 2008 aplicación de comparendos ambientales.
- la Ley 1450 de 2011 Que el artículo 251 establece que "Las autoridades ambientales, personas prestadoras o entidades territoriales no podrán imponer restricciones sin justificación técnica al acceso a los rellenos sanitarios y/o estaciones de transferencia."
- Ley 1466 de 2011 La finalidad de la presente leyes crear e implementar el Comparendo Ambiental como instrumento de cultura ciudadana, sobre el adecuado manejo de residuos sólidos y escombros, previendo la afectación del medio ambiente y la salud pública, mediante sanciones pedagógicas y económicas a todas aquellas personas naturales o jurídicas que infrinjan la normatividad existente en materia de residuos sólidos; así como propiciar el fomento de estímulos a las buenas prácticas ambientalistas.

2.2.2. Decretos

- Decreto 2811/74 Gobierno Nacional, Código de los Recursos Naturales Renovables. Art.34: Manejo de residuos, basuras, desechos y desperdicios. Artículo derogado por el artículo 118 de la Ley 99 de 1993.
- Decreto 2104/83 Ministerio de Salud, Derogado parcialmente por el Decreto 605/96 de Min. Desarrollo. Se encuentran vigentes las consideraciones ambientales en la prestación del servicio y la gestión de los residuos sólidos establecidas en este Decreto. Derogado por el Decreto 605 de 1996, artículo 123.
- Decreto 605 de 1996: Lineamientos para la adecuada prestación del servicio de aseo Derogado por el decreto 1713 de 2002.
- Decreto 1713 de 2002: Gestión integral de residuos sólidos, la separación en la fuente de los diferentes tipos de residuos domiciliarios, la recolección selectiva de los residuos, la existencia de centros de acopio y el fomento de las actividades propias de la recuperación de los residuos como el reciclaje y el compostaje. Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, la Ley 632 de 2000 y la Ley 689 de 2001, en relación con la prestación del servicio público de aseo, y el Decreto Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 en relación con la Gestión Integral de Residuos Sólidos, modificado por el decreto nacional 838 de 2005.
- Decreto 1505 de 2003: Modifica el Decreto 1713 de 2002 en relación con los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos. (PGIRS). Derogado por el art. 120, Decreto Nacional 2981 de 2013.

- Decreto 838 de 2005: (marzo 23) por el cual se modifica el Decreto 1713 de 2002 sobre disposición final de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones.
- Decreto 2981 de 2013: (Diciembre 20) Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo.
- Decreto 0059 2009. Se adopta los manuales para la implementación de programas de gestión integral de residuos sólidos en las entidades públicas, instituciones educativas, conjuntos residenciales, centros comerciales, supermercados, almacenes de cadena y eventos.

2.2.3. Resolución

- Resolución 2309/86 Ministerio de Salud Regula todo lo relacionado con el manejo, uso, disposición y transporte de los Residuos Sólidos con características especiales. Establece responsables de su recolección, transporte y disposición final. Modificado por Artículo 1 de la Resolución 189 de 1994.
- Resolución 189/94 Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Regulaciones para impedir la introducción al territorio nacional de residuos peligrosos. Derogada por la Resolución 809 de 2006 Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Resolución 541/94 Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Regula el cargue, descargue, transporte, almacenamiento y disposición final de escombros, materiales, elementos concretos, agregados sueltos de construcción, demolición y capa orgánica, suelo y subsuelo de excavación.

- Resolución 11/96 Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Entra a regular la prohibición de introducir desechos peligrosos al país, el manejo y gestión de los generadores en Colombia y el control y vigilancia de los mismos, todo ello conforme al Convenio de Basilea.
- Decreto 605/96 Ministerio de Desarrollo, Condiciones para la prestación del servicio público domiciliario de aseo (recolección, transporte y disposición final). Reglamenta la Ley 142. en los aspectos ambientales involucrados en las fases de recolección, transporte y disposición final. Derogado por el Decreto 1713 de 2002.
- Resolución 1096/2000 Ministerio de Desarrollo, Sección II, Título F. Definiciones, criterios de identificación de Residuos Peligrosos, métodos de caracterización físico-química del laboratorio, condiciones de transporte, métodos de eliminación, criterios de ubicación de instalaciones para el tratamiento y disposición de Residuos Peligrosos, etc. Modificada por la resolución de 2320 del 2009.
- Resolución 970/2001 Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Por medio del cual se establecen requisitos, las condiciones y los límites máximos permisibles de emisión, bajo los cuales se debe realizar la eliminación de plásticos contaminados con plaguicidas en hornos de presión de Clinker de plantas cementeras.
- Decreto 1602/2002 Ministerio de Transporte, Reglamenta el manejo y transporte terrestre automotor de mercancías peligrosas por carretera.
- Decreto 1713/2002 Ministerio de Desarrollo, Reglamenta la Ley 142/94, la Ley 632/00 y la Ley 689/01, en relación con la prestación del servicio público de

aseo, y el Decreto Ley 2811/74 y la Ley 99/93 en relación con la Gestión Integral de Residuos Sólidos (El presente Decreto deroga en todas sus partes el Decreto 605 de 1996, salvo el Capítulo I del Título IV y las demás normas que le sean contrarias). Derogado por el decreto 1505 DE 2003. (Junio 6). Derogado por el art. 120, Decreto Nacional 2981 de 2013.

- Decreto 1140/2003 Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Por medio del cual se modifica parcialmente el Decreto 1713/2002 en relación con las unidades de almacenamiento y se dictan otras disposiciones. Derogado por el art. 120, Decreto Nacional 2981 de 2013.
- Decreto 1505/2003 Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Por medio del cual se modifica parcialmente el Decreto 1713 de 2002, en relación con los planes de gestión integral de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones.

Para este estudio se tuvo en cuenta las leyes, decretos y resoluciones de Colombia con sus últimas modificaciones. De forma generalizada se presentó la legislación correspondiente al manejo y gestión de residuos sólidos en el país.

2.3. Estado del Arte

La contaminación presentada en los suelos, aire y mares ocasionada por el consumo y desecho de botellas PET (tereftalato de polietileno) se ha convertido en tema de interés y preocupación por diversos países. Esto ha permitido la implementación de numerosas estrategias con el fin de tener como resultado la mitigación y minimización del impacto ambiental generado por dicho material a nivel global.

La contaminación en los mares es reconocida como basura marina y esta afecta directamente a los animales que se encuentran dentro y fuera de las aguas, ya que al ser ingeridos por estos se puede presentar la muerte de estos vertebrados tales como tortugas, gaviotas, pelicanos incluso pingüinos y diversas especies de peces, siendo igual de común las graves heridas en sus cuerpo por quedar atrapados dentro de las rejillas plásticas o envases.

El medio marino sufre un considerable grado de contaminación como consecuencia de los residuos plásticos que aparecen flotando en los océanos de todo el mundo, por todas partes, desde las regiones polares hasta el Ecuador. El lecho marino, especialmente cerca de las regiones costeras, también está contaminado. Los plásticos están también presentes en las playas, desde las regiones más pobladas hasta las costas de islas remotas y deshabitadas. Los plásticos y los materiales sintéticos son los dos tipos de basura marina más común y son responsables de la mayor parte de los problemas que sufren los animales y aves marinas. Se conocen al menos 267 especies diferentes que se han enredado o han ingerido restos marinos, entre ellas se cuentan aves, tortugas, focas, leones marinos, ballenas y peces, por esta razón es importante y vital la disminución de este contaminante en los mares.

Consecuente con ello y a fin de dar viabilidad a la estrategia propuesta, el Ministerio y la Asociación Colombiana de Industrias Plásticas – Acoplásticos, suscribieron el Convenio Especial de Cooperación Científica y Tecnológica No. 035, con el objeto de elaborar dos guías ambientales relacionadas con el proceso de transformación de las materias plásticas y el manejo racional, aprovechamiento y disposición de los residuos plásticos, principalmente de pos-consumo.

La Guía de procesos básicos de transformación de la industria plástica, provee información y directrices técnicas para el manejo y procesamiento de los polímeros, identifica sus principales impactos ambientales y define actividades de manejo precisas, asegurando que todos los procesos que conforman el ciclo de producción del plástico, se desarrollen de una forma ambientalmente sostenible.

A su vez, la guía ambiental para el manejo, aprovechamiento y disposición de residuos plásticos, principalmente de pos-consumo, se constituye en herramienta básica para orientar la actividad de todos los actores que intervienen en la gestión de estos residuos, aportando a su vez a la consolidación de una estrategia para el aprovechamiento y valoración de los mismos y el fortalecimiento de las cadenas de reciclaje. (Allsopp M, Walters A, Santillo D y Johnston P, 2007).

Para la contaminación en los suelos las entidades de saneamiento encargadas de cada sector están en la obligación de manejar un registro de cuánto debe ser la basura producida por días en cada vivienda, pueden utilizar unos de los métodos más reconocidos para esta labor que es el R, este es el encargado de promediar cuanta basura se recoge por día en cada vivienda, este se puede determinar mediante la ecuación:

X = Número de viviendas que en n días produjeron Y cantidad de basura.

n = Número de día en que X número de viviendas se produjeron Y cantidad total de basura en peso (kilogramos).

R puede entonces calcularse conociendo la cantidad total de basura Y producida en n días, y el número de viviendas X que la producen.

Esto se hace para llevar un control de la basura recogida y asignar un vehículo que tenga la capacidad suficiente para la recolección de toda la basura. Alrededor del 80% del presupuesto total de las empresas de aseo se utiliza en labores de recolección. Al caminar por las calles de la ciudad de Barranquilla se hace notable la cantidad de residuos sólidos que se encuentran depositados en andenes, arroyos, y calles olvidadas; Por ejemplo, el centro de Barranquilla donde no solo se observan botellas de PET vertidas en las calles, con frecuencia los despojos de las casas cercanas y otros residuos sólidos se pueden percibir en toda la zona.

Según la Ley 142 de 1994; la responsabilidad sobre el manejo de la basura es del ente encargado de la recolección de estos desechos y de su organización con los horarios destinados para esta labor. A simple vista cualquier transeúnte que circule por el lugar llegarían a la conclusión que en el sector no se recogen los residuos sólidos generados por la sociedad, y quedaría evidente que la recolección pasa de ser formal a convertirse en informal, por eso es importante tener una organización al momento de la recolección de la basura, se pueden evitar inconvenientes que pueden afectar la salud de los ciudadanos, a mayor acumulación de basura existente mayor probabilidad de que los seres humanos contraigan infecciones del ambiente (SENA, 1999).

De acuerdo con un estudio realizado en Girardot, Cundinamarca en un día de recolección de datos se obtuvo 94 kg de residuos sólidos, donde el plástico representaba el 36,2% del total de los residuos recolectados en el bosque.



Figura 6 Porcentaje de residuos solidos

Fuente: García, J. (2015) Caracterización de los residuos sólidos ordinarios presentes en el área de interés paisajístico Alonso vera (Girardot, Cundinamarca) y sus posibles implicaciones ambientales. Recuperado el 02 de agosto 2014 <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n40/n40a14.pdf>

De acuerdo con la gráfica anterior se puede determinar que el plástico tiene un alto porcentaje en la recolección de residuos sólidos, tomando en cuenta que la recolección se obtuvo en un día, se debe tener un cambio urgente ya que si se hubiese tomado en cuenta la recolección de un mes el valor oscilara entre 1.086 kilogramos de residuos sólidos del plástico (García A, Fran J, 2015).

Una de las estrategias implementadas para la contaminación de suelo fue la implementación de rellenos sanitarios ya que esta es una técnica de eliminación de los desechos sólidos mediante su enterramiento, cumpliendo ciertas normas exigidas por la ingeniería sanitaria. Evitando los malos olores, la presencia de las moscas, roedores y gallinazos, mejorando así las condiciones de salud, seguridad pública y medio ambiente tanto su operación, como después de terminado el relleno, esta técnica consiste en colocar una geo-membrana o plásticos de alto

calibre y piedra en el terreno, sobre la cual se procede a disponer los residuos sólidos ya seleccionados, los cuales son compactados y cubiertos con capas de tierra de 0.20 m de espesor, hasta alcanzar un peso específico de 0,70 ton/m³ . La altura recomendable para cada celda debe ser de aproximadamente un metro, reduciendo los problemas de hundimiento y logrando una mayor estabilidad.

Una vez compactados los residuos sólidos se coloca otra capa de 0.20 m, hasta completar cuatro, formando de esta manera una celda. Finalmente se coloca una capa con material de cobertura, más o menos de 0.60m de espesor, muy beneficioso para la siembra de vegetación, cuyo soporte vegetal son los terraplenes contruidos en piedra, una de las ventajas de estos rellenos es que es menos costoso que otras estrategias y generalmente están ubicados cerca de los municipios, esto lo hace más rentable por el ahorro en el costo de transportes.

Esta estrategia no dio resultado en el relleno sanitario Doña Juana, donde se presentó una avalancha la cual afectó a barrios cercanos en 1997, aunque se dice que se habían presentado varias irregularidades en la visita que se hizo en 1994 en septiembre por el programa de naciones unidas del desarrollo y por planeación nacional, el terreno estaba compuesto por cuatro secciones, la última era para residuos peligrosos, pero se encontró en la investigación que este último no se respetó dando como consecuencia un revuelto de la basura, también se determinó que este relleno no estaba adecuado de un sistema de drenaje de las aguas lluvias lo que también permitió el desborde de este, para estos casos de solución por relleno sanitario se debe de cumplir con todas las regulaciones pertinentes a tiempo y contar con un sistema de contingencia frente cualquier situación.

La contaminación en el aire, un ejemplo de este es el efecto invernadero que se presenta en la actualidad, el cambio constante del clima está haciendo grandes estrago, desde la presencia de avalancha, desbordes, y temblores que se han

presentado en Colombia esta última décadas, está siendo muy preocupante. La temperatura del planeta va ascendiendo debido a que los gases generados están atrapados y dispersos en la atmósfera haciendo que cada día la temperatura global aumente. Los gases que causan el efecto invernadero tal como el dióxido de carbono, siendo este el más importante ya que su origen principal es el consumo de combustible fósiles. A mediados del siglo 19 inicio el uso exagerado del carbón en las máquinas dependientes de él, como lo son las máquinas de vapor, locomotoras y barcos, y con el incremento de ellas fue creciendo la proporción de dióxido de carbono en el aire. Al sumarse el petróleo y sus derivados, y el desarrollo de los automotores con el motor de combustión interna, se aceleró ese crecimiento, que en la actualidad se estima en un 4% anual, también se debe de tener en cuentas las otras empresas conocida por la quema de estos combustibles a gran escala.

Los clorofluorocarbonos CFC y otros compuestos clorados, son gases sintéticos fabricados por su utilidad en las industrias aerosoles o electrónicos entre otros responsables del debilitamiento global de la capa de ozono y del efecto invernadero. Entre otros gases se encuentra el metano producido por bacterias de la basura, el óxido nitroso se origina en la creación de nailon y por último el hexafluoruro de azufre que se encuentra en los aislantes de equipos eléctricos

Unas de las ultimas estrategias es el reciclaje de este material, lo vital es emplear metodologías de logística para este proceso según Porto alegre, Brasil; Nascimento, Trevisan, Figueiró y Bossle (2009), se identifica en los cuellos de botellas y oportunidades en el reciclaje de dicho material. La principal barrera identificada es de responsabilidad del gobierno local, el material virgen y el reciclado se encuentra igualmente grabados, a su vez la carencia de leyes que incentiven la utilización del material reciclado. También se detectó que el precio de la resina virgen no tiene en cuenta los costos ambientales, de eliminación y

transporte de material. A su vez las falencias en el sistema de recolección y la falta de conciencia del consumidor final en la forma de depositar el residuo afectan la capacidad de recolección y el costo final del material reciclado.

También se tiene en cuenta las estrategias para esta recolección o metodología utilizada por distintos actores, de acuerdo con Hortal, Dobón y Aucejo (2007), a través de encuestas realizadas en centros de acopio en la ciudad de Zaragoza, exponen dos métodos o modelos de retorno de envases y materiales de empaques generados en los supermercados. El primero consiste en un modelo Centralizado de retorno, el cual está basado en recolecciones periódicas realizadas en puntos de ventas donde previamente el material es clasificado según su tipo. Una vez realizadas las recogidas en cada punto los retornos son llevados a un centro de acopio donde se compactados y almacenados para darles su disposición final. En segundo lugar se encuentra el modelo descentralizado, este permite eliminar un eslabón en la cadena, el centro de acopio se descarta ya que por medio de la contratación de un tercero, se asigna la responsabilidad de recoger y disponer finalmente el material.

En Brasil Coelho, Castro y Gobbo (2012) plantean un modelo logístico para el reciclaje de botellas PET usadas. Dicho modelo se basa en tres principales aspectos a desarrollar: La creación de políticas públicas que enfoquen la responsabilidad en las compañías productoras del material, integración de los actores en la producción, consumo y reciclaje del material para minimizar el uso de material virgen y aumentar la reutilización del usado y finalmente la creación de cooperativas de recicladoras apoyadas por las empresas productoras del material y bebidas, se espera que dichas cooperativas aporten el 30% del material recuperado en total.

Uno de los obstáculos presentados es que no hay leyes que regulan esta actividad, lo que hace más difícil la logística de recogida de estos, De acuerdo con Van der Berg (2014) en Colombia el panorama no difiere en mucho al resto de américa latina ya que las políticas públicas no amparan integralmente el reciclaje de materiales reutilizables. Aunque este país se encuentra en una etapa de transición de un modelo poco elaborado de gestión de residuos a un modelo moderno.

El reciclaje de botellas PET está siendo liderado por ENKA, empresa dedicada a manufacturar fibras textiles, apalancada por un modelo conformado por cooperativas de recicladores, centros de acopio (EKORED) y una planta de reutilización. Los recicladores informales recuperan el material vertido en las calles y vertederos municipales, estos los llevan a centros de acopio donde son clasificados, separados, triturados, desinfectados y embalados. El centro de acopio una vez obtiene los volúmenes adecuados transporta el material a la planta de reutilización, así se reducen las operaciones y los costos relacionados.

Anteriormente en Colombia las cooperativas de recicladores informales no estaban siendo acobijadas por el plan de gestión de residuos sólidos municipales, pero en 2011 tras batallas en los tribunales estos fueron incluidos en el mencionado plan. Ciudades como Bogotá y Medellín lideran la formalización de las cooperativas de recicladores informales, en dichas urbes se reportan 13.000 y 3.680 recicladores registrados respectivamente. Si bien se han dado pasos en camino del reciclaje que han dado buenos resultados, aún hay mucho por avanzar en la temática.

Han sido diversos los esfuerzos que se han generado para contrarrestar el impacto ambiental generado por botellas PET. Mediante el presente proyecto de grado se plantea la caracterización de la cadena de abastecimiento de las botellas

PET como estrategias que permitan atacar las falencias detectadas dentro de los procesos para maximizar el volumen de recolección y minimizar costo de almacenamiento y transporte.

3. CAPITULO III. CARACTERIZACIÓN DE LA CADENA DE ABASTECIMIENTO DE LAS BOTELLAS PET

3.1. Diseño Conceptual

Mediante la caracterización de la cadena de abastecimiento de las botellas PET en la ciudad de Barranquilla se busca identificar claramente la función y la contribución de cada una de sus eslabones. A su vez se pretende evidenciar falencias existentes durante el flujo de material, tales como cuellos de botellas y procesos que incrementen los costos finales del material. De esta manera se obtendrá a la integración de la cadena de abastecimiento, la reducción de costos y el incremento de la tasa de recolección.

El proceso caracterización contará de las siguientes actividades:

- ✓ Identificación de los actores de la cadena de abastecimiento: por cual se pretende conocer en la función y aporte de cada uno dentro la cadena.
- ✓ Evaluación de los métodos de embalaje y manipulación del material: se busca analizar las prácticas de manipulación en cada eslabón para detectar puntos críticos de mejora en los procesos.
- ✓ Propuestas de integración: plantear estrategias colaborativas entre los eslabones para facilitar y agilizar el flujo de material e información sobre la cadena.

Agregar valor al proceso mediante la administración de la demanda y la optimización de los procesos logísticos para lograr es imprescindible para llegar a

mayor capacidad de respuesta y consecuentemente obtener mayor volumen de material reciclado.

3.2. Descripción de Cadena de Abastecimiento

La cadena de abastecimiento de las botellas PET puede variar en algunos mercados o incluso dentro del mismo. Sin embargo se puede generalizar o tomar un modelo base que nos permite estudiar y analizar cada una de los eslabones.

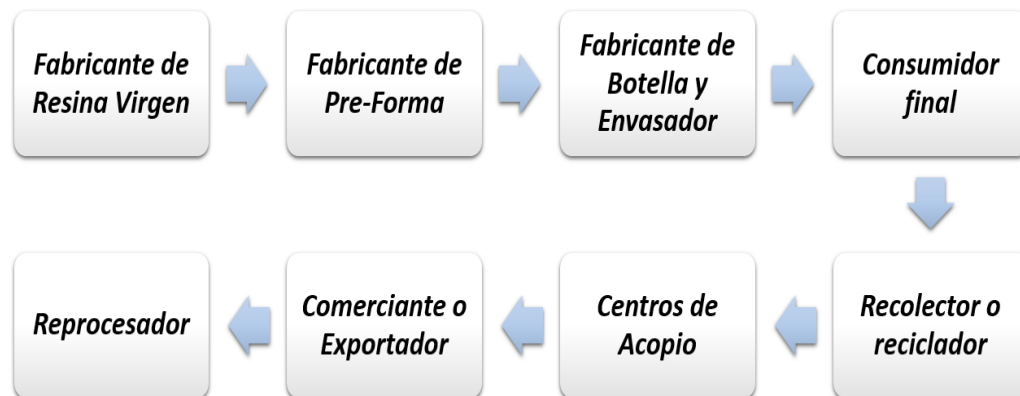


Figura 7 Cadena de Abastecimiento del PET

Fuente: Meza, S & Perez, B (2015) Caracterización de la cadena de abastecimiento del PET en la ciudad de Barranquilla.

Usualmente la cadena está conformada por ocho eslabones donde el fabricante de resina virgen inicia el proceso, este entrega un material solido granulado el cual tiene varios usos entre los cuales se encuentra las botellas PET. Posteriormente se encuentra el fabricante de la Pre-forma, este producto consta de un cilindro el cual puede ser moldeado a la forma de botella deseada. Mediante una matriz y moldeo por soplado, el fabricante de la botella le da la forma deseada, generalmente este es quien envasa el producto que suele ser agua, bebidas carbonatadas o jugos naturales.



Figura 8 Preforma y Botella PET

Fuente: Ortega, M. (2011). El reciclaje del PET está en su mejor momento. Recuperado el 02 de octubre de 2015 <http://www.plastico.com/temas/El-reciclaje-de-PET-esta-en-su-mejor-momento+3084014>

El producto es adquirido por el consumidor final, quien una vez consume el contenido desecha la botella y esta a su vez es recolectada o reciclada en un punto de reciclaje o recogida en basureros y calles de las ciudades.

El reciclador lleva el material hacia un centro de acopio donde es separado de materiales contaminantes, lavados y triturados en escamas, según el centro de acopio que la recibe estos procesos pueden variar o incluso ser omitidos, asumiéndolos el último eslabón de la cadena (reprocesador del material). Luego el material resultante es embalado en Big Bags para el caso de haber sido triturado o comprimido en fardos cuando el material no es reprocesado para ser vendido a comerciantes o exportadores del material.



FIGURA 9 Centro de acopio ENKA, Colombia

FUENTE: Portafolio (2013). Enka de Colombia registró caída de ingresos operacionales. Recuperado el 02 de agosto de 2015 <http://www.portafolio.co/negocios/enka-colombia-balance-primer-semester-2013>

En algunos casos el centro de acopio suele ser el mismo comerciante o exportador. Finalmente este material puede ser reutilizado en productos para envasar productos químicos, fibras textiles, hilos industriales entre otros.

3.3. Cadena de Reciclaje

La cadena de abastecimiento de las botellas PET puede ser fragmentada y analizada en varias secciones. Una de estas considerada como cadena de reciclaje, la cual inicia desde el recolector o reciclador y finaliza en el eslabón encargado de reprocesar el material y convertirlo en un nuevo producto.

La ciudad de Barranquilla quienes acopian el material suelen ser quienes lo procesan, embalan y revenden a plantas reprocesadoras del mismo. Estos pueden ser nacionales o internacionales y suelen tener especificaciones precisas para recibir el material, las cuales pueden variar de empresa a empresa según el acondicionamiento de su planta.

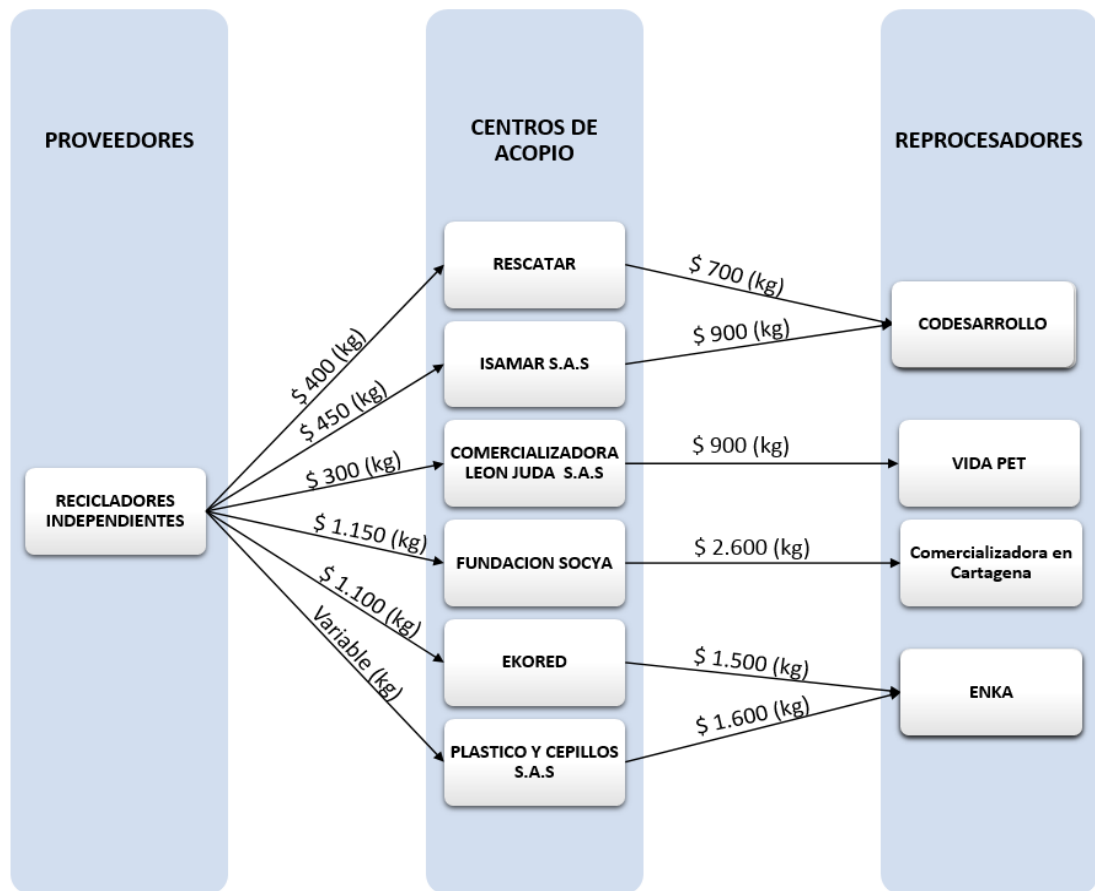


Figura 10 Cadena de Reciclaje

Fuente: Meza, S & Perez, B (2015) Caracterización de la cadena de abastecimiento del PET en la ciudad de Barranquilla.

La cadena de reciclaje para la ciudad de Barranquilla se encuentra dividida en tres eslabones, sin mencionar el cliente final que adquiere el material reprocesado con un valor agregado. De acuerdo con la figura anterior en el primer eslabón se encuentran los recicladores independientes, quienes encuentran el material depositado en las calles, basureros y canecas entre otros; Estos lugares son conocidas como punto de reciclaje de escala menor, estas personas se encargan de hallar el material por diferentes medios y dirigirse a un centro de acopio cercano para su venta. Se observa que cada centro compra el material a un precio

diferente, este puede variar de acuerdo la cantidad, el método de embalaje y la calidad del material adquirido.

En el caso de EKORED y FUNDACIÓN SOCYA se puede apreciar que obtienen el material a un costo elevado, la diferencia está en que adquieren el material ya procesado por familias patrocinadas por estos mismos, las cuales le añaden valor al mismo por medio de procesos de clasificación y limpieza del material.

Los centros de acopio venden el material con distintos valores, estos varían según tratamiento recibido (compactado, molido, embalado entre otros procesos que le añaden valor). Finalmente plantas reprocesadoras como ENKA fabrican productos tales como fibras textiles, resina, filamentos e hilos industriales.

3.4. Caso Cadena de Reciclaje Postobón

En el caso POSTOBÓN S.A. se presenta una estructura diferente a la cadena antes presentada. Estos reciclan material en pre-consumo, es decir, cuando se presenta una no conformidad dentro del proceso de soplado de botellas, esta es desechada para ser posteriormente reciclada, aparte también manejan el reciclaje post-consumo, cuando un trabajador consume un producto envasado en una botella PET, este también se recicla. Cabe aclarar que este material se encuentra en mejores condiciones que el que manejan los recicladores comunes, esta entidad tiene un centro de acopio temporal donde se compacta el material para ser vendido a ECOEFICIENCIA.

Siendo ECOEFICIENCIA el siguiente actor de esta cadena en particular, su función es clasificar, moler y limpiar el material recibido. Posteriormente este material es enviado a diversos clientes quienes se encargan de la transformación

Este se evidencia en la figura siguiente donde se muestra el proceso desde la preforma hasta el cliente final.

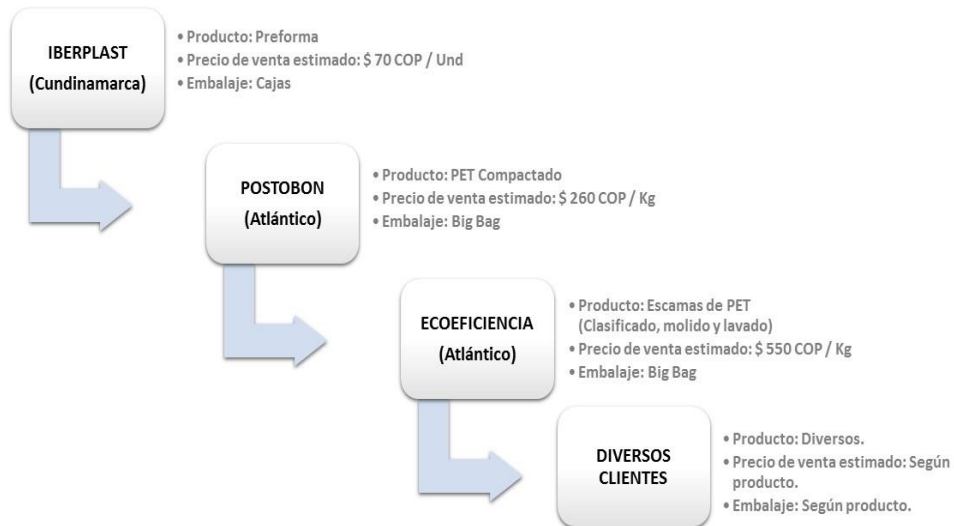


Figura 9 Cadena de Reciclaje POSTOBON

Fuente: Meza, S & Perez, B (2015) Caracterización de la cadena de abastecimiento del PET en la ciudad de Barranquilla.

4. CAPÍTULO IV. ACCIONES DE MEJORA PROPUESTAS Y ANALISIS

4.1 Análisis de la situación actual

De acuerdo con los resultados obtenidos de la caracterización, se procederá a analizar la situación actual de la cadena de abastecimiento con el fin de puntualizar sobre las falencias detectadas y proponer opciones de mejora que permitan lograr los objetivos de la investigación.

4.1.1 Funciones de los eslabones de cadena

Tal como se mencionó en el anterior capítulo, la cadena de abastecimiento de las botellas PET puede variar incluso dentro de un mismo mercado. Tomando como objeto de análisis la cadena más común, se observa en especial en la cadena de reciclaje que algunos de sus actores aportan muy poco valor o no aportan valor alguno al material o en la cadena, por el contrario terminar elevando los costos del mismo haciéndolo menos competitivo frente a los materiales vírgenes.

<i>Fabricante de Resina Virgen</i>	• Transforma materias primas en Resina Virgen.
<i>Fabricante de Pre-Forma</i>	• Moldea la Resina a una Pre-Forma.
<i>Fabricante de Botella y Envasador</i>	• Transforma la Pre-Forma en Botellas para envasar.
<i>Consumidor final</i>	• Desecha el material.
<i>Recolector o reciclador</i>	• Recolecta el materia por diversos puntos y medios.
<i>Centros de Acopio</i>	• Almacenar, clasificar, limpiar, compactar o triturar.
<i>Comerciante o Exportador</i>	• Comercializar en mayores volúmenes.
<i>Reprocesador</i>	• Transformar en nuevos productos.

Figura 10 Funciones de la actores de la cadena

Fuente: Meza, S & Perez, B (2015) Caracterización de la cadena de abastecimiento del PET en la ciudad de Barranquilla.

Desde el mismo consumidor final se puede lograr cambios importantes en la cadena de valor:

- Siendo el consumidor quien desecha la botella, este puede compactar cada recipiente usado con el fin de eliminar este proceso en los eslabones siguientes. Por otro lado, si este actor depositara el material en puntos adecuado y no en la calles de la ciudad el proceso de recolección puede más eficiente y organizado.
- Cuando el recolector entrega el material en el centro de acopio generalmente no lo separa según el tipo de PET (Color), como resultado este proceso se le debe hacer en mayor escala en el siguiente eslabón. Si cada recolector realizara esta labor antes de entregarlo esto tendría un resultado positivo y agregaría valor a la cadena.
- Los centros de acopios usualmente son quienes más valor agregan al material en toda la cadena con procesos como limpiado o lavado, clasificación, compactación y triturado o escamado. Estos entregan el material a quienes lo comercializan local, nacional o internacionalmente pero el este eslabón no aporta valor la material ni a la cadena. La unificación del centro de acopio y comercializador reduciría la amplitud de la cadena y minimizaría el costo final del material ante quien lo reprocesa.

4.1.2 Métodos de recolección

A lo largo de la cadena de reciclaje (del recolector al reprocesador) se observa la falta de tecnificación o estipulación de metodologías en la manipulación, almacenamiento y selección del material. Salvo algunas excepciones o casos puntuales como ENKA y FUNDACIÓN SOCYA quienes se aseguran de capacitar

y brindar los recursos necesarios a las personas para que ejecuten su trabajo de forma adecuada, segura y eficiente.

- **Recolección:** las personas encargadas de obtener el material vertido en las calles y basureros de la ciudad generalmente son personas de escasos recursos que encuentran en el reciclaje una opción de subsistir. Cabe destacar que estos no solo reciclan botellas PET en desuso, sino todo tipo material reciclable. A su vez no cuentan con ningún conocimiento técnico que les permita diferencias entre una botella PET potencialmente reciclables a una botella contaminada con químicos, como también clasificarlas por el color del material debido a que esto influirá en que productos puedan reutilizarse.
- **Manipulación y almacenamiento:** el mismo contraste dentro del mismo sector y mercado se observa dentro de los métodos de almacenamiento del material reciclado. Desde Fardos comprimidos (botella entera), arrumes dentro del almacén y material triturado dentro de Big Bag son algunas de las practicas convencionales en el ámbito local. Cada eslabón acomoda su almacenamiento y estipula métodos de manipulación ajustándose a sus recursos y condiciones actuales, pero no se lleva un criterio unificado durante la cadena que permita mantener el flujo eficiente dentro de la misa.

Personal con los elementos de protección personal adecuada a las características propias de la industria no son una constante. Por el contrario son mayoritarios los caso donde las personas se expones a cualquier tipo de contaminante presente en los materiales manipulados.

4.1.3 Estrategias comerciales y de integración.

Se observa completo hermetismo entre los eslabones de la cadena de abastecimiento, cada quien se reserva información relacionada con los volúmenes y valores del material con el fin de ser más competitivos de forma individual. No se tiene un concepto de cadena de abastecimiento donde la colaboración de todos los actores puede contribuir con el crecimiento de cada uno, lograr eficiencia en sus procesos y minimizar los costos relacionados a las operaciones y adquisición del material.

Cuando se presenta retención de la información solo se busca el crecimiento propio sin tener en cuenta que esta falencia afecta a toda la actividad, las personas encargadas de cada uno de los eslabones solo buscan su propio beneficio en cuanto a costo, pero no se preocupan en si en los grandes volúmenes que se pueden llegar manejar, esto se debe a que no hay una valorización de la demanda como tal.

Se carece de una visión estratégica del negocio, porque esta actividad puede llegar a tener una formalidad ante los entes pertinentes teniendo a su favor leyes que la soporten, vigilen, controlen y la respalden. Su objetivo principal es recoger, procesar y vender, esta actividad se realiza de manera empírica pero faltaría el conocimiento en cada eslabón que permita una ejecución eficiente y por ende un crecimiento global de la actividad.

4.2 Propuesta de Mejora

4.2.1 Integración

Las empresas que conforman la cadena de abastecimiento de las botellas PET deben tener un sentido más amplio del negocio, analizar la totalidad de la cadena y como participan en ella.

La integración de la cadena puede tener un impacto positivo para todos si se plantean un objetivo común en donde resultado sea la colocación en el mercado de material PET reciclado de calidad y bajo costo. Esto permitirá al PET reciclado ser competitivo ante el material virgen, logrando un incremento sostenido en la demanda del mismo.

El conocimiento del proceso total del reciclaje de botellas PET por todos los eslabones puede llevar a la eficiencia operativa de la cadena. Eliminar procesos u operaciones que no agregan valor o que se repiten a lo largo de la cadena, evitar sobre costos y manejar mejores precios.

Incluso la unión de la cadena puede mejorar los resultado, algunos eslabones puede integrarse y funcionar como uno solo tal como el caso del centro de acopio y comercializadores locales e internacionales. Como se mencionó anteriormente este tipo de estrategias permite minimizar el costo final del material a favor de la competitividad del mismo.

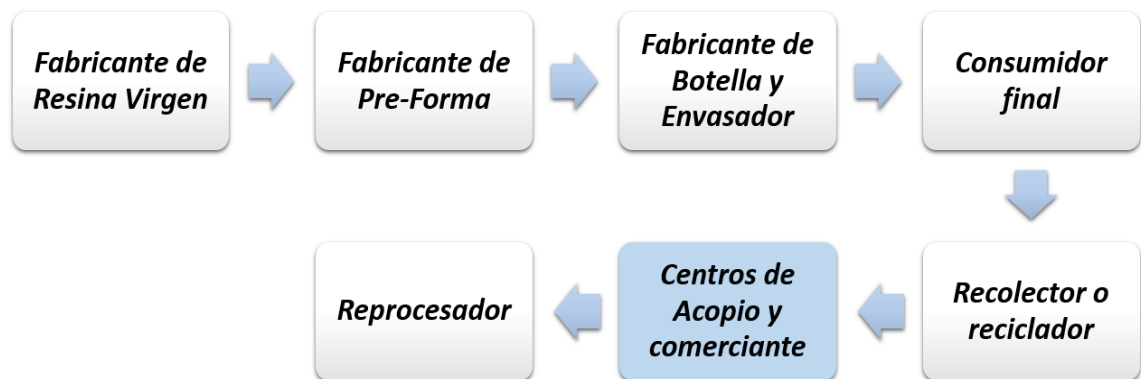


Figura 11 Cadena de abastecimiento ideal

Fuente: Meza, S & Perez, B (2015) Caracterización de la cadena de abastecimiento del PET en la ciudad de Barranquilla.

Las especificaciones sobre como se debe recibir el material en cuanto a embalaje y estado (triturado o compactado) para hacer mas eficiente el recibo y procesamiento del mismo, deben ser de conocimiento entre los eslabones directamente relacionados.

4.2.2 Operaciones y almacenamiento

En cuanto a técnicas de almacenamiento es aconsejable compactar las botellas en fardos, esta práctica permite optimizar el espacio utilizado en comparación con los almacenamientos caóticos donde no se cuenta con criterio técnico.



Figura 12 Centro de acopio ENKA

Fuente: Ortega, M (2011) América latina: caso del éxito del Pet Recuperado el 02 de octubre de 2015 <http://www.plastico.com/temas/America-Latina,-Casos-de-exito-en-reciclaje-de-PET+3084017?pagina=7>.

Los fardos permiten utilizar el espacio verticalmente ya que se pueden apilar uno sobre otro sin requerimiento de estanterías u otros elementos. Solo se requieren de zunchos para mantener el fardo compacto e invertir en una máquina de compactación. Se debe estudiar la viabilidad de esta opción mediante un análisis costo beneficio que permitirá identificar si el ahorro en costos de almacenamiento cubre los gastos de adquisición y mantenimiento de la maquinaria.



Figura 13 Máquina compactadora HSM PET CP 4988

Fuente: Asturalba (2015) Recuperado el 02 de octubre de 2015 http://www.asturalba.com/maquinas/prensas-reciclar-pet/prensas_pet.htm

Los beneficios en la compactación del material no solo se obtienen en almacenamiento, sino en la manipulación y transporte del mismo. Los fardos pueden ser creados en las dimensiones y peso variables con el fin de optimizar la operatividad y los procesos. La máquina ilustrada anteriormente permite procesar 4.000 botellas por hora y compactar fardos de 100 kg y se logra una reducción superior al 90% en volumen.

Debido al peso del fardo se requieren traspaletas y estibas para su movilización, en caso de subirlos en altas alturas se requiere de un equipo especializado como montacargas.



Figura 14 Big Bag tipo construcción

FUENTE: Ingenio de servicios tecminal (2009) big bag tipo construcción, Recuperado el 02 de octubre de 2015 <http://www.quiminet.com/noticias/oferta-de-big-bags-2417842.html>

Por otro lado es tendencia el almacenamiento por Big Bag. Este consiste en bolsas de gran volumen donde el material es depositado una vez triturado o la botella comprimida. Es más recomendable la botella triturada ya que se usan menos bolsas a mayor número de botellas, permiten que el Big Bag tome su forma ideal, lo cual facilita su almacenamiento.

El modelo habitual del Big Bag posee 90 centímetros de largo por 90 centímetros de ancho y 100 centímetros de altura, pero estas dimensiones pueden variar según los requerimientos y el fabricante. Estas son reutilizables y de materiales resistente, soportando hasta 1000 kg de carga.

Al igual que las fardos, las Big Bag debido a su volumen y pensó una vez llena, se requiere de un equipo especializado para su movilización tal como monta cargas o andamios móviles con los cuales se puedan trasladar de un punto a otro.



Figura 15 Traslado por montacargas

Fuente: Pavco. (2015) Recuperado el 02 de octubre de 2015 www.pavco.com.co/2/bigbag/5-433/i/433

4.2.3 Mercadeo y gestión de la demanda

La demanda no aumenta porque esta actividad no se le ha brindado el manejo adecuado y solo representa un negocio de barrio, para ello es importante plantearse objetivos generales y específicos para alcanzarlos. Darle la ubicación adecuada sus instalaciones es relevante para atraer nuevos proveedores.

Es importante tener claro que se debe conocer el mercado para captar su atención, hay que estudiar las características que presentan, las variables que componen el entorno, las empresas competidoras, los puntos críticos y el ente diferenciador con el que cuenta el producto para que este sea irresistible a su obtención, esto debe acompañarlo un plan de mercadeo y publicidad centralizado en recuperar y vender más rápido y en mayores volúmenes (incrementar la rotación).

Se recomienda implementar estrategia de mercado que creen la necesidad de adquirir material reciclado en vez de comprar material virgen, de esta manera se maximizará la demanda actual, teniendo un plan de marketing que conviertan al material en un producto atractivo a su compra, para lograrlo hay que desarrollar las 5P que tienen un papel muy importante y que su uso de una manera correcta logran que el producto reciclado entre al mercado siendo competitivo ante otros productos.

Enfocarse en cubrir todos los canales de mercadeo, crear un blog donde se aclare ¿qué se hace? y ¿dónde se puede emplear el producto?, el valor y características del producto. Adicionalmente crear un directorio de las personas encargadas de reprocesar y vender este material.

Se invita a la creación de volantes para que se entreguen PAP, haciendo visible la compra y venta de este material a las personas que no tienen la accesibilidad por internet, utilizar todos los medios de publicidad desde las propagandas hasta las vallas en la calle con el objeto de masificar la interacción con el cliente.

Manejar un costo unificado donde las personas puedan llevar el material a cualquier centro de acopio cercano que evite el traslado a grandes distancias para

su venta, esto le permitara a quien suministra el material obtener una mayor margen de utilidad y eveitando costos de transporte.

Por último se hace un listado de recomendaciones que debería tener los centros de acopio para una mejor gestión:

- Lugar estratégico
- Zonas limpias.
- lugar seguro y de fácil acceso.
- Buen servicio al cliente
- Asesorías al personal que lo requiera
- Buena distribución en la planta
- Personal con buena presentación

4.2.4 Legales

Es recomendable que las empresas dedicadas a esta actividad (comercializar botellas PET recicladas) cuenten con un Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo que permita minimizar la tasa de accidentabilidad, morbilidad e incapacidad, brindar un ambiente de trabajo digno. El equipo de trabajo que goza de buena salud es más productivo en cualquier organización o actividad que se desempeñe, esto contribuye al desarrollo de la organización y por ende la consecución de objetivos previamente planteados.

Debido a la informalidad observada en el mercado, se recomiendo a aquellas microempresas que se desenvuelven en este mercado constituirse legalmente, aporten al desarrollo de la región y el país.

Una vez constituidas pueden recibir ayuda de las organizaciones gubernamentales encargadas de apoyar e incentivar las diversas industrias que se encuentran en el país, la participación en ruedas de negocios, ferias y exposiciones permitirá desarrollar el potencial de la industria del reciclaje.

CONCLUSIONES DEL PROYECTO

El tereftalato de polietileno es un material que tiene un margen de utilidad alto en la industria, sin embargo por las características químicas que lo componen su degradación natural puede tomar hasta 500 años. Como antes se mencionaba el despojo de esta materia genera impacto negativo al ecosistema, contaminándolo y su incineración genera gases que dañan la atmósfera con consecuencias graves como el efecto invernadero.

El reciclaje y reutilización de botellas PET desechadas por la sociedad representa una actividad que minimiza la fabricación y uso de material virgen, por lo cual el material producido tendrá un ciclo de vida más extenso, como resultado se reduce el volumen de material desechado.

Mediante la anterior caracterización se logró identificar las falencias, puntos de mejora y procesos ineficientes que impiden el crecimiento de la industria dedicada al reciclaje y comercialización de botellas PET. Las recomendaciones y estrategias antes expuestas contribuirían aumentar el volumen de material reciclado en cada una de estas empresas, simultáneamente permitirán la minimización del costo de compra y venta.

Entre las principales falencias identificadas se encuentran la falta de integración de los eslabones que componen la cadena, métodos ineficientes de almacenamiento y manipulación del material. En términos generales la industria está poco desarrollada y se maneja como negocio informal donde existen métodos eficientes de gestión.

Por lo anterior las estrategias recomendadas se basan en métodos eficientes de almacenamiento como fardos de material obtenidas mediante la compactación del mismo, Big Bag que optimizan el espacio utilizado el almacenamiento. Se recomienda integrarse y trabajar bajo un mismo objetivo a los eslabones de la cadena, invertir en estrategias de mercadeo para captar mayor volumen de material, proveedores y clientes. La constitución legal como paso que les permitirá tener un mayor acercamiento a los entes gubernamentales será imprescindible como estrategia de afianzamiento y crecimiento.

El desarrollo sostenible debe ser el principal objetivo de las organizaciones que se dedican a la explotación materias primas no renovables y la fabricación de materiales no degradables. Es realmente importante que los esfuerzos de las mismas por lograr desarrollo económico contemplen la responsabilidad social y genere conciencia al resto de individuos y hacer que ellas a lo largo lleguen hacer sostenibles.

REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

1. Meza, C. (2013). Biodegradabilidad De Polietileno Tereftalato Y De Oxopolietileno, A Nivel De Laboratorio, Por La Acción De Bacterias Nativas Presentes En Humus De Lombriz, Caballo Y Gallina. Guayaquil: Escuela Politécnica del Ejército. Departamento de Ciencias de la Vida
2. Arias, J, Blach, L & Parra, J. (2012). Estudio De Factibilidad Para La Creación De Empresa Teco S.A.S Encargada De La Compra De Desechos Plásticos Para Su Transformación Y Comercialización Para El Sector De La Construcción En La Ciudad De Armenia universidad Del Quindío. Armenia, Quindío: Tesis.
3. Coelho, M. De Castro, R. y Gobbo, J. (2012). PET Containers in Brazil: A Logistics Model for Post-Consumer Waste Recycling. Brazil: Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade Estadual Paulista (UNESP).
4. Hortal, S. Dobón, A. Aucejo, S (2007). La Logística Inversa Aplicada A Los Residuos De Envases De Grandes Centros De Distribución. Zaragoza: Instituto Tecnológico del Embalaje, Transporte y Logística. Primer Congreso de Logística y Gestión de la Cadena de Suministro.
5. Van Der Berg, S. (2014). Integration of the informal sector in PET bottle collection and recycling. Nieuwe Haven: Waste.
6. Nascimento, L. Trevisan, M. Figueiró, P y Bossle, M. (2009). PET Bottle Recycling Chain. Rio Grande do Sul: Federal University of Rio Grande do Sul.

7. Doku, K. (2015). El peso del Reciclaje. Barranquilla: El Heraldó. Recuperado el 01 de octubre de 2015 <http://www.elheraldo.co/local/el-peso-del-reciclaje-203886>.
8. Grajales, J. Vidal, A. y Ramírez D. (2014). Incorporación de Tereftalato de Polietileno Como Agente Modificador en el Asfalto. Cali: Pontificia Universidad Javeriana Cali. Facultad de Ingeniería.
9. Arévalo, C. (2004). Principales Procesos Básicos De Transformación De La Industria Plástica Y Manejo, Aprovechamiento Y Disposición De Residuos Plásticos Post-Consumo. Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Viceministerio de Ambiente.
10. Mauricio, F. Meza V (2013). Biodegradabilidad De Polietileno Tereftalato Y De Oxopolietileno, A Nivel De Laboratorio, Por La Acción De Bacterias Nativas Presentes En Humus De Lombriz, Caballo Y Gallina. Sangolquí: Escuela Politécnica del Ejército, Departamento de Ciencias de la Vida.
11. Tepic, G. Pejakov, T. Lalic, B. Vukadinovic, V & Milisavljevic S. (2013). The Application Of Recycled Aluminum And Plastics In Environmental Protection. Novi Sad: Pregledni rad.
12. Container Recycling Institute (2008). Wasting and Recycling Trends: Conclusions from CRI's 2008 Beverage Market Data Analysis. Culver City: RCI.
13. Napcor (2008). Report On Postconsumer Pet Container Recycling Activity. Sonoma: National Association for PET Container Resources.

14. Rodríguez L. & Ramos C. (2013). Disposición Final de Residuos Sólidos en Colombia. Bogotá: Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios.
15. Dinero (2009). La oportunidad está en la basura. En Que Invertir. Recuperado el 22 de septiembre de 2015, de <http://www.dinero.com/green/seccion-patrocinios/articulo/la-oportunidad-esta-basura/84440>.
16. Derraik, J. (2002). The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. Marine Pollution Bulletin 44. Wellington: Ecology and Health Research Centre, Department of Public Health, Wellington School of Medicine and Health Sciences, University of Otago.
17. Rodríguez, M. Perdomo, J. y Strefezza, M. (2004). Control de una extrusora de plástico usando un control PI difuso adaptado con el error de predicción del modelo. Revista Ciencia e Ingeniería. Venezuela: Red Universidad de Los Andes.
18. Fernández Quesada, Isabel; Fuente García, David de la (Contribution by). Análisis de la logística inversa en el entorno empresarial. Una aproximación cualitativa. España: Ediuno - Universidad de Oviedo, 2005. p 68-69.
19. Lund, H. (2011) Manual McGraw-Hill de reciclaje. Volumen I. México: McGraw-Hill Interamericana. ProQuest ebrary. Web. 2 October 2015.
20. Reyes, V. Zavala, D. Gálvez, J. (2008). Una Revisión Del Proceso De La Logística Inversa Y Su Relación Con La Logística Verde (2da Ed.). Barcelona: Departamento de Proyectos de Ingeniería, Universidad Politécnica de Cataluña.

21. Makyu, j. (1998). Doña juana, un desastre de basuras. revista de la facultad de ingenierias , 113-120.
22. Michelle Allsopp, A. W. (2007). La contaminación por plásticos en los océanos del mundo. Greenpeace.
23. Colombia Ministerio de Desarrollo Económico. (1999). Manejo y disposición de residuos sólidos municipales: Curso básico. (Programa de capacitación y certificación del sector de agua potable y saneamiento básico). Bogotá: Ministerio de Desarrollo Económico: SENA.
24. Armengot García Pérez, Jack Fran. (2015). Caracterización de los residuos sólidos ordinarios presentes en el área de interés paisajístico Alonso Vera (Girardot, Cundinamarca) y sus posibles implicaciones ambientales. revista luna azul, enero-junio, 213-223.

ANEXOS

ENCUESTA DE CARACTERIZACIÓN

Empresa: _____	Tel : _____
Dirección: _____	Nit : _____
Fecha: __ : __ : __	

EMBALAJE, MANIPULACIÓN Y VOLUMEN DE MATERIAL

¿Cómo recibe el material?

¿Qué proceso aplican una vez recibido el material y tiempo de duración del mismo?

¿Cómo es despachado el material hacia el cliente?

¿Qué volumen de material se recibe durante un periodo de un mes?

PROVEEDORES Y CLIENTES

¿Quién le suministra el material?



Recicladores



Empresa



[Otros lugares]

Principal Proveedor

¿Quién es su cliente?

☐ Fabricas ☐

Centros de
acopio

☐ Exportadores

☐ [Otro medio]

Principal Cliente

COSTOS Y PRECIOS

¿Cuál es el costo de material y unidad de medida?

¿Cuál es el precio de venta final y unidad de medida?

¿Cuál es el margen de contribución mínimo?

Observaciones: